

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS - UNISINOS
CIÊNCIAS EXATAS E TECNOLÓGICAS
CURSO DE BACHARELADO EM ENGENHARIA MECÂNICA

Franco Picoli

ANÁLISE DO TORQUE NO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO
COM MACHOS DE ROSCAR

São Leopoldo

2010

Franco Picoli

ANÁLISE DO TORQUE NO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO
COM MACHOS DE ROSCAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de **Bacharel** em Engenharia Mecânica
na Universidade do Vale do Rio dos Sinos
(UNISINOS)

Orientador: Walter Andrey Fontana

São Leopoldo

2010

Franco Picoli

ANÁLISE DO TORQUE NO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO
COM MACHOS DE ROSCAR

Trabalho de Conclusão de Curso apresentado
como requisito parcial para a obtenção do
título de **Bacharel** em Engenharia Mecânica
na Universidade do Vale do Rio dos Sinos
(UNISINOS)

Aprovado em ___ de _____ de 2010.

BANCA EXAMINADORA

Prof. Ms. Felipe Carlos Schneider – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Ms. Felipe Roman Centeno – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Prof. Ms. Dilson Aguiar de Souza – Universidade do Vale do Rio dos Sinos

Dedico este trabalho:
Aos meus pais, Lucas e Helena
A minha irmã Viviane
Ao meu amor Márcia

AGRADECIMENTOS

Expresso meus sinceros agradecimentos:

À Deus, pela maior graça que destes: O da vida.

Aos meus pais, Lucas Picoli e Helena Corteze Picoli, pelo amor imensurável e pela educação que me deram.

A minha irmã, Viviane Corteze Picoli, pela amizade e companheirismo.

A Márcia Maria Sulzbach, pelo amor, companheirismo e carinho, prestados ao longo desse período.

Ao meu orientador, professor MS Walter Andrey Fontana, pela ajuda, conhecimento e entusiasmo transmitido não só no desenvolvimento deste trabalho, mas sim ao longo de todo o curso.

Ao professor João Olegário, pela ajuda e orientações prestadas no desenvolvimento do equipamento eletrônico utilizado neste trabalho

Ao pessoal do Laboratório de Usinagem em especial ao Jacson por sua notória contribuição, ao pessoal do Laboratório de Metalurgia Física e Metrologia em especial ao Rodrigo e ao Matheus, pelo apoio prestado no desenvolvimento do trabalho.

Ao pessoal da Engenharia Elétrica em especial ao Iran e ao Alexandre pela expressiva ajuda prestada no desenvolvimento do trabalho.

Ao pessoal da Mesal Máquinas e Tecnologia pelo apoio prestado para a realização do trabalho.

Aos amigos Dirceu, Evandro e Renan, pela amizade e pela ajuda prestada no desenvolvimento do trabalho.

Aos professores, que souberam transmitir de forma distinta o conhecimento sobre as mais diversas áreas da engenharia mecânica.

Aos meus amigos, por sempre estarem presentes nas horas boas e ruins.

RESUMO

O rosqueamento é, sem dúvida, um dos processos mais importantes na indústria metal-mecânica, visto que a maioria das peças e componentes utilizam sistemas de fixação por parafusos e roscas. Dá-se notável atenção ao processo de rosqueamento com machos de roscar por sua grande utilização no meio industrial e pela complexidade do processo. Por ser geralmente um dos últimos processos executados na peça, apresenta um alto valor agregado, sendo que muitas vezes a quebra de um macho durante a usinagem pode comprometer uma peça inteira. Neste trabalho foram analisados os torques provenientes do processo de rosqueamento com machos de roscar de diferentes tamanhos na usinagem de aço SAE 1020. Para que o estudo acontecesse, foi necessário o desenvolvimento de um sistema para a aquisição dos dados, que capturasse as forças de torque e as armazenasse em um microcomputador para posterior análise. O sistema foi composto de um transdutor de torque, dispositivos eletrônicos e de um software para processamento dos dados, sendo todos desenvolvidos na própria universidade. Foram analisados os torques promovidos pelos machos M6, M8, M10 e M12 de dois fabricantes diferentes, sendo que as ferramentas eram para uso específico em máquinas. Foram analisados machos de canais helicoidais e de ponta helicoidal, com o intuito de verificar a influência da geometria das duas ferramentas no processo de rosqueamento. Análises de processos com e sem uso de lubrificantes e a utilização de revestimentos superficiais nos machos também foram abordados neste trabalho. Puderam-se verificar, pelos dados adquiridos, as fases distintas do processo de rosqueamento com machos, que são: imersão, estado estável de corte e o retorno. Os dados mostraram o quão instável é o processo, o que reforça a teoria da complexidade do processo de rosqueamento com machos. Cada tamanho de macho obteve dados distintos de torque, sendo a média dos torques máximos diferentes para cada tamanho de ferramenta. Quanto maior o tamanho da ferramenta maior era o torque, porém essa relação não obteve uma forma linear. No que se refere ao uso de lubrificantes e de revestimentos superficiais nas ferramentas, no processo de rosqueamento, estes mostraram contribuição significativa na diminuição dos valores de torque. Com os dados adquiridos nos ensaios, pode-se estabelecer um gráfico com a curva da relação tamanho de macho versus torque requerido, para auxiliar na obtenção do torque decorrente do tamanho de cada macho.

Palavras-chave: usinagem, machos de roscar, torque, transdutores de torque.

LISTA DE FIGURAS

FIGURA 2-1 FURAÇÃO POR CORDA PUXADA.	16
FIGURA 2-2 PERFIL BÁSICO DE UMA ROSCA MÉTRICA.	18
FIGURA 2-3 COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM MACHO DE ROSCAR.	20
FIGURA 2-4 TIPOS DE MACHOS UTILIZADOS NA INDÚSTRIA.	23
FIGURA 2-5 PORTA FERRAMENTAS TIPO CONE.	28
FIGURA 2-6 CABEÇOTE DE ROSQUEAMENTO AUTO-REVERSO.	28
FIGURA 2-7 ROSQUEADEIRA ARTICULÁVEL.	29
FIGURA 2-8 PRINCIPAIS DESGASTES E AVARIAS EM MACHOS DE ROSCAR.	32
FIGURA 2-9 GRÁFICO DE COMPORTAMENTO DO TORQUE DURANTE O PROCESSO DE ROSQUEAMENTO.	35
FIGURA 2-10 REPRESENTAÇÃO ESQUEMÁTICA DE UM TRANSDUTOR.	38
FIGURA 2-11 COMPONENTES PRINCIPAIS DE UM EXTENSÔMETRO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA.	40
FIGURA 2-12 EXEMPLO DE UM ESQUEMA DE CIRCUITO TIPO PONTE DE WHEATSTONE.	42
FIGURA 3-1 ALGUNS DOS MACHOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS.	44
FIGURA 3-2 INTERFACE DO SOFTWARE DE PROCESSAMENTO DE DADOS DESENVOLVIDO EM LAB VIEW.	46
FIGURA 3-3 ESQUEMA DE INSTALAÇÃO DO EQUIPAMENTO PARA MEDIR E ARMAZENAR OS SINAIS DE TORQUE DOS ENSAIOS.	46
FIGURA 3-4 TORNO UTILIZADO NA REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.	47
FIGURA 3-5 MICROESTRUTURA DO AÇO CARBONO SAE 1020.	48
FIGURA 3-6 COMPONENTES PRINCIPAIS DO TRANSDUTOR DE TORQUE.	49
FIGURA 3-7 TRANSDUTOR DE TORQUE APÓS SUA CONCLUSÃO.	50
FIGURA 3-8 EXTENSÔMETRO DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA TIPO “BIAXIAL”.	50
FIGURA 3-9 EIXO DE TORÇÃO COM OS EXTENSÔMETROS, TERMINAIS E CABOS FIXADOS.	52
FIGURA 3-10 ESQUEMA DE LIGAÇÃO DOS EXTENSÔMETROS COM O CONDICIONADOR DE SINAIS.	52
FIGURA 3-11 MECANISMO PARA PROMOVER OS TORQUES DE VALORES.	53
FIGURA 3-12 VERIFICAÇÃO DAS MASSAS PADRÕES NA BALANÇA DE PRECISÃO.	54
FIGURA 3-13 ALINHAMENTO COM NÍVEL DE PRECISÃO PARA CALIBRAÇÃO DO TRANSDUTOR.	55
FIGURA 3-14 PROCEDIMENTO PARA A PRODUÇÃO DOS TORQUES.	56
FIGURA 3-15 GRÁFICO DE DISPERSÃO DOS VALORES DO CONDICIONADOR DE SINAL EM RELAÇÃO AS MASSAS COLOCADAS NA BANDEJA.	57
FIGURA 3-16 GRÁFICO DOS VALORES MÉDIOS DOS GRÁFICOS GERADOS PELO SOFTWARE EM RELAÇÃO AS MASSAS COLOCADAS NA BANDEJA DO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO.	58
FIGURA 3-17 GRÁFICO DOS VALORES DO SOFTWARE VERSUS TORQUE PRODUZIDO PELO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO.	59
FIGURA 3-18 SEQUÊNCIA DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO.	61
FIGURA 3-19 MÁQUINA E EQUIPAMENTOS MONTADOS PARA A REALIZAÇÃO DOS ENSAIOS.	62
FIGURA 4-1 FASES PRINCIPAIS DO SINAL DE TORQUE PRODUZIDO NO ENSAIO DOIS DO MACHO M12 DE HSS E CANAIS HELICOIDAIS DA OSG.	64

FIGURA 4-2 SINAIS DE TORQUE DOS TRÊS ENSAIOS REALIZADOS COM MACHOS M10 DE HSS E CANAIS HELICOIDAIS DA OSG; LUBRIFICAÇÃO POR CAMADA DE ÓLEO	65
FIGURA 4-3 REPETIBILIDADE DA MEDIÇÃO DO TORQUE COM MACHOS DE ROSCAR M10 X 1,5 MM; 9,5MM DE PROFUNDIDADE DE CORTE; CONDIÇÃO A SECO; 175 RPM.	66
FIGURA 4-4 PROCESSO DE CORTE NO AVANÇO E QUEBRA DO CAVACO NA REVERSÃO DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO: ENSAIO TRÊS DO MACHO M10 DE HSS E CANAIS HELICOIDAIS DA OSG.	67
FIGURA 4-5 SINAIS DE TORQUE OBTIDOS DOS TRÊS ENSAIOS REALIZADOS COM O MACHO M10 DE HSS-E E CANAIS HELICOIDAIS DA TDC.....	68
FIGURA 4-6 SINAIS DE TORQUE DOS MACHOS DE HSS E CANAIS HELICOIDAIS DA OSG;LUBRIFICAÇÃO POR CAMADA DE ÓLEO.	68
FIGURA 4-7 MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS TORQUES PROMOVIDOS PELOS MACHOS M8, M10 E M12 DE HSS E CANAIS HELICOIDAIS DA OSG, NA FASE ESTÁVEL DO PROCESSO.....	69
FIGURA 4-8 SINAIS DE TORQUE DECORRENTE DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO DOS MACHOS M8 DE CANAIS HELICOIDAIS E DE PONTA HELICOIDAL DA OSG; LUBRIFICAÇÃO POR CAMADA DE ÓLEO	70
FIGURA 4-9 SINAIS DE TORQUE DECORRENTE DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO DOS MACHOS M10 DE CANAIS HELICOIDAIS E DE PONTA HELICOIDAL DA OSG; LUBRIFICAÇÃO POR CAMADA DE ÓLEO	70
FIGURA 4-10 SINAIS DE TORQUE DECORRENTE DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO DOS MACHOS M12 DE CANAIS HELICOIDAIS E DE PONTA HELICOIDAL DA OSG; LUBRIFICAÇÃO POR CAMADA DE ÓLEO	71
FIGURA 4-11 MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS TORQUES PROMOVIDOS PELOS MACHOS DE CANAIS HELICOIDAIS E PONTA HELICOIDAL DE HSS DA OSG, NA FASE ESTÁVEL DO PROCESSO; LUBRIFICAÇÃO POR CAMADA DE ÓLEO	71
FIGURA 4-12 COMPARAÇÃO DOS SINAIS DE TORQUE COM DIFERENTES CONDIÇÕES DE LUBRIFICAÇÃO; M10 X 1,5; PROFUNDIDADE DE CORTE DE 12,7 MM; VELOCIDADE DO EIXO ÁRVORE DE 175 RPM.	72
FIGURA 4-13 COMPARAÇÃO ENTRE O TORQUE ESTIMADO E O SINAL DE TORQUE MEDIDO, RESULTANTE DO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO COM MACHO M10 X 1,5 DE HSS E CANAIS RETOS.	73
FIGURA 4-14 SINAL DE TORQUE PROMOVIDO PELO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO DO MACHO M8 DE CANAIS HELICOIDAIS DA TDC, COM E SEM A UTILIZAÇÃO DE LUBRIFICAÇÃO	73
FIGURA 4-15 MÉDIA E DESVIO PADRÃO, DO TORQUE PROMOVIDO PELO MACHO M8 DE HSS-E E CANAIS HELICOIDAIS DA TDC, NA FASE ESTÁVEL DO PROCESSO.....	74
FIGURA 4-16 SINAIS DE TORQUE PROMOVIDOS PELO PROCESSO DE ROSQUEAMENTO DO MACHO M8 DA TDC SEM COBERTURA E COM COBERTURA DE TiN. USINAGEM SEM LUBRIFICAÇÃO	74
FIGURA 4-17 MÉDIA E DESVIO PADRÃO DO TORQUE PROMOVIDO PELO MACHO M8 DE HSS-E SEM COBERTURA E COM COBERTURA DE TiN DA TDC, NA FASE ESTÁVEL DO PROCESSO; USINAGEM SEM LUBRIFICAÇÃO.....	75
FIGURA 4-18 SINAIS DE TORQUE DOS PROCESSOS DE ROSQUEAMENTO COM OS MACHOS DE HSS-E DA TDC; USINAGEM COM LUBRIFICAÇÃO	75
FIGURA 4-19 MÉDIA E DESVIO PADRÃO DOS SINAIS DE TORQUE DOS ENSAIOS DE ROSQUEAMENTO DOS MACHOS DE HSS-E DA TDC, NA FASE ESTÁVEL DO PROCESSO.	76
FIGURA 4-20 GRÁFICO TAMANHO DE MACHO VERSUS TORQUE REQUERIDO.	76

LISTA DE TABELAS

TABELA 3-1 RELAÇÃO DE MACHOS UTILIZADOS NOS ENSAIOS.	43
TABELA 3-2 DIÂMETRO DOS FUROS PARA FAZER ROSCA COM MACHOS	44
TABELA 3-3 CARACTERÍSTICAS DO CONDICIONADOR DE SINAL PARA EXTENSÔMETROS	45
TABELA 3-4 DADOS DO TORNO UTILIZADO NOS ENSAIOS	47
TABELA 3-5 CARACTERÍSTICAS FÍSICO-QUÍMICAS DO AÇO SAE 1020.....	47
TABELA 3-6 NOMENCLATURA DAS PEÇAS DO TRANSDUTOR E MATERIAIS UTILIZADOS NA PRODUÇÃO.....	50
TABELA 3-7 PRINCIPAIS CARACTERÍSTICAS DO EXTENSÔMETRO TIPO “BIAXIAL”.....	51
TABELA 3-8 VALORES DAS MASSAS PADRÕES VERIFICADAS NA BALANÇA COM SUAS RESPECTIVAS MÉDIAS.	54
TABELA 3-9 VALORES OBTIDOS NO CONDICIONADOR DE SINAL CORRESPONDENTE CADA MASSA COLOCADO NA BANDEJA.....	56
TABELA 3-10 VALORES OBTIDOS DA MÉDIA DOS GRÁFICOS GERADOS PELO SOFTWARE	58
TABELA 3-11 TABELA COM VALORES DOS TORQUES E DOS VALORES MOSTRADOS NO SOFTWARE.....	59
TABELA 3-12 SEQUÊNCIA DE ENSAIOS DOS MACHOS DE ROSCAR	60
TABELA 3-13 VALORES OBTIDOS DA MÉDIA DOS GRÁFICOS GERADOS	63

LISTA DE SÍMBOLOS E ABREVIATURAS

°	- Unidade de ângulo (Graus)
°C	- Unidade de temperatura (grau Celsius)
p	- Passo da Rosca (mm)
γ	- Ângulo de saída da ferramenta (Graus)
λ	- Ângulo da ponta helicoidal do macho (Graus)
β	- Ângulo da hélice dos canais do macho (Graus)
%	- Porcentagem (Por cento)
ABNT	- Associação Brasileira de Normas Técnicas
ASTM	- <i>American Society for Testing and Materials</i> ou Sociedade Americana para Testes e Materiais
C	- Carbono
CAD	- <i>Computer Aided Design</i> ou Desenho Auxiliado por Computador
CNC	- Comando Numérico Computadorizado
DIN	- <i>Deutsches Institut für Normung</i> ou Instituto Alemão para Normatização
HSS	- Aço rápido M7 convencional
HSS-E	- Aço rápido especial M3 com alto teor de vanádio
HSS-PM	- Aço rápido fabricado pelo processo da metalurgia do pó
HRB	- Dureza Rockwell – B
ISO	- <i>International Organization for Standardization</i> ou Organização Internacional de Normalização.
JUS	- <i>Yugoslav standard for Steel Materials</i> ou Normalização Iugoslava para Aços e Materiais
mA	- miliampère
Mn	- Manganês
MoS ₂	- Bissulfeto de molibdênio
MQL	- Mínima Quantidade de Lubrificante
NBR	- Norma Brasileira
NH ₃	- Gás Amônia
H ₂	- Gás Hidrogênio
P	- Fósforo
PVD	- <i>Physical Vapour Deposition</i> ou Deposição Física de Vapor
R ²	- Coeficiente de determinação
RPM	- Rotações por minuto
S	- Enxofre
SAE	- <i>Society of Automotive Engineers</i> ou Sociedade dos Engenheiros de Automóveis
TiAlN	- Nitreto de titânio e alumínio
TiC	- Carboneto de titânio
TiCN	- Carbonitreto de titânio
TiN	- Nitreto de titânio
WC/C	- Carboneto de tungstênio com carbono

SUMÁRIO

1	INTRODUÇÃO	13
1.1	MOTIVAÇÃO	13
1.2	OBJETIVOS	14
1.2.1	Objetivo Geral	14
1.2.2	Objetivos Específicos	14
1.3	DELIMITAÇÃO DO TRABALHO	15
1.4	ESTRUTURA DO TRABALHO	15
2	REVISÃO BIBLIOGRÁFICA	16
2.1	USINAGEM	16
2.2	ROSQUEAMENTO	17
2.3	ROSQUEAMENTO COM MACHOS DE ROSCAR	19
2.4	MACHO DE ROSCAR	19
2.4.1	Tipos de machos de roscar	21
2.4.2	Materiais dos machos de roscar	24
2.4.3	Tratamentos e revestimentos superficiais dos machos de roscar	25
2.5	MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA ROSCAR COM MACHOS	27
2.5.1	Dispositivos de fixação	27
2.5.2	Máquinas para rosqueamento	29
2.6	FLUIDOS DE CORTE	29
2.7	DESGASTES E AVARIAS EM FERRAMENTAS DE CORTE	31
2.8	PROBLEMAS QUE OCORREM EM ROSCAS USINADAS COM MACHOS DE ROSCAR	33
2.9	VIDA DAS FERRAMENTAS DE CORTE	34
2.10	FORÇAS E POTÊNCIAS NO ROSQUEAMENTO	34
2.11	MEDIÇÃO DAS FORÇAS DE USINAGEM	36
2.12	EQUIPAMENTOS DE MEDIDAS	38
2.13	TRANSDUTORES	38
2.14	TRANSDUTORES DE TORQUE DE EXTENSÔMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA	39
2.15	EXTENSÔMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA	39
2.15.1	Fator “k” dos extensômetros	41
2.15.2	Capacidade de corrente de excitação do extensômetro	41
2.15.3	Ponte de Wheatstone	42
3	MATERIAIS E MÉTODOS	43
3.1	MATERIAIS	43
3.1.1	Machos	43
3.1.2	Brocas para furação dos corpos de prova	44
3.1.3	Lubrificação	45
3.1.4	Equipamento de coleta dos sinais de torque	45
3.1.5	Corpo de prova	47
3.2	PROJETO DO TRANSDUTOR DE TORQUE	48
3.2.1	Fixação dos extensômetros	50
3.2.2	Calibração do transdutor de torque	53
3.3	PROCEDIMENTOS PARA OS ENSAIOS	60
4	RESULTADOS E DISCUSSÕES	64

5 CONCLUSÃO	78
6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS	79
REFERÊNCIAS	80
APÊNDICE A - CÁLCULO DOS TORQUES PRODUZIDOS PELOS MACHOS DE ROSCAR.....	83
APÊNDICE B - DIMENSIONAMENTO DO EIXO DE TORÇÃO DO TRANSDUTOR DE TORQUE.....	84
APÊNDICE C - DIMENSIONAMENTO DOS EXTENSÔMETROS.....	86
APÊNDICE D – CÁLCULO DOS TORQUES PROMOVIDOS PELO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO	88
APÊNDICE E – GRÁFICOS DOS ENSAIOS	90
ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA BALANÇA.....	108

CAPÍTULO I

1 INTRODUÇÃO

O processo de rosqueamento, apesar de pouco estudado, tem grande importância na produção de inúmeras peças e componentes na indústria metal-mecânica. O processo de rosqueamento com machos de roscar é, ainda hoje, um dos processos mais utilizados para a fabricação de roscas, devido a versatilidade e a variedades de ferramentas existentes no mercado para os mais variados tipos de roscas. Por ser uma operação de alto valor agregado, já que é uma das últimas operações de usinagem realizadas, é de extrema importância o conhecimento e o domínio das técnicas da operação, pois a quebra de um macho durante o processo pode comprometer a qualidade da peça ou até mesmo provocar o sucateamento dela, acarretando grande prejuízo para a indústria. Este trabalho foi direcionado ao estudo do torque no processo de rosqueamento com machos de roscar, visando obter valores de torque para diferentes tamanhos de machos. Diferentes tipos de ferramentas, como os machos de canais helicoidais e de ponta helicoidal também englobam os estudos deste trabalho. Abrangeu-se também a influência dos revestimentos superficiais das ferramentas e a utilização de lubrificação no processo.

1.1 MOTIVAÇÃO

A falta de informações sobre os torques necessários para a execução de roscas com diferentes tamanhos de machos, em aços como o SAE 1020, foi a principal fonte de motivação para o presente trabalho. Pouco se sabe sobre as reais forças provenientes desse processo e as equações existentes nem sempre são precisas nos resultados, devido aos inúmeros fatores envolvidos no rosqueamento com machos, caracterizando-o como um processo de alta complexidade.

1.2 OBJETIVOS

Os objetivos do presente estudo subdividem-se em objetivo geral e objetivo específico. O objetivo geral visa utilizar o presente trabalho como base de dados dentro da indústria e também dentro de um contexto científico. Tem também o objetivo de aprimorar e desenvolver os estudos sobre o processo de rosqueamento com machos de roscar. Os objetivos específicos são os aspectos de limitação do trabalho. Por se tratar de um processo bastante complexo, que envolve inúmeras variáveis como geometria, materiais e revestimentos superficiais das ferramentas, sistemas de lubrificação e materiais usinados, faz-se necessário delimitar o trabalho dentro de um contexto específico.

1.2.1 Objetivo Geral

Este estudo tem por objetivo geral analisar e avaliar o processo de rosqueamento com machos de roscar de diferentes tamanhos e em diferentes situações. O interesse é que este estudo sirva como base de dados para a indústria e para o meio científico. Para tanto, o trabalho engloba diferentes situações dentro do processo de rosqueamento com machos.

Além disso, o trabalho visa servir como base de dados para desenvolvimento de novos estudos sobre o processo no rosqueamento com machos de roscar.

1.2.2 Objetivos Específicos

Os seguintes objetivos específicos ajudam a delinear o trabalho. São eles:

- 1) Análise do sinal de torque decorrente do processo de rosqueamento;
- 2) Análise do torque decorrente do processo de rosqueamento com machos de roscar de diferentes tamanhos;
- 3) Análise do torque decorrente do processo de rosqueamento com e sem lubrificação;

- 4) Análise do torque decorrente do processo de rosqueamento com ferramentas sem revestimento superficial e com revestimento de TiN;

1.3 DELIMITAÇÃO DO TRABALHO

Para fins de execução do trabalho, é necessário ressaltar que ele foi totalmente realizado dentro dos laboratórios da UNISINOS, de acordo com as condições por eles oferecidas. O equipamento para obtenção dos esforços de torque, que contempla o transdutor de torque e o equipamento eletrônico, foi desenvolvido e produzido dentro da Universidade. O software utilizado para processamento dos sinais de torque foi adaptado de um já existente, utilizado para captação dos sinais de um transdutor piezoelétrico, montado em um torno do laboratório de usinagem. Software este, desenvolvido por alunos da instituição.

1.4 ESTRUTURA DO TRABALHO

Para melhor entendimento, este trabalho foi dividido em quatro capítulos. O Capítulo I refere-se a introdução do trabalho. O Capítulo II aborda a revisão bibliográfica, utilizada para abordar informações teóricas necessárias ao bom entendimento do trabalho. No Capítulo III são descritos, detalhadamente, os procedimentos adotados para a realização dos experimentos, bem como os equipamentos e materiais utilizados. No Capítulo IV, são apresentados os resultados e discussões obtidos através da execução dos experimentos descritos no Capítulo III e no capítulo V são apresentadas as conclusões e as propostas para trabalhos futuros.

Por fim, são apresentadas as referências literárias, utilizadas para pesquisa e elaboração dos textos, os apêndices e os anexos.

CAPÍTULO II

2 REVISÃO BIBLIOGRÁFICA

2.1 USINAGEM

A definição de usinagem pode ser dita como a transformação da matéria-prima em produto por meio da remoção de material na forma de cavaco (SANTOS, 2007). O cavaco, por sua vez, é a porção de material retirado da matéria prima pela ferramenta, caracterizado por possuir forma irregular (FERRARESI, 1970)

As origens dos processos de usinagem remetem a pré-história com a utilização de ferramentas de pedra lascada (idade da pedra lascada). Se considerar que as lascas removidas por estas ferramentas sejam cavacos, pode-se dizer que estas foram as ferramentas pioneiras na usinagem. O aprimoramento da técnica de fabricação de ferramentas em pedra levou a humanidade à idade da pedra polida (SANTOS, 2007).

No final da pré-história o ser humano passou a usar metais na fabricação de suas ferramentas, como o ouro, o cobre e o ferro, sendo o ferro o último dos metais utilizados para essa finalidade.

Outro grande avanço na usinagem foi a transformação do movimento de translação em rotação (com o sentido de rotação invertido em cada ciclo). Este princípio foi utilizado em um dispositivo denominado furação de corda puxada, visto na Figura 2-1, que data aproximadamente 1450 anos A.C.



Figura 2-1 Furação por corda puxada.
Fonte: CIMM (2010)

Tamanha foi a importância das ferramentas na evolução da humanidade, que os historiadores as utilizaram para dividir períodos de desenvolvimento da pré-história.

No século XIX surgem as máquinas a vapor onde a energia proveniente do vapor de água aquecida era convertida em movimento de eixos, polias e roldanas de máquinas de usinagem. Mais tarde o vapor seria substituído pela energia elétrica.

No final deste mesmo século, deu-se início aos estudos dos fenômenos que ocorrem nos processos de usinagem, com Frederick Winslow Taylor, que visava o aumento da produtividade dos processos de fabricação. As pesquisas de Taylor revolucionaram os processos produtivos através do desenvolvimento do aço rápido, dos fluidos de corte e da determinação da equação de vida para ferramentas de corte (SANTOS, 2007).

Já no século XXI, marcado pelo desenvolvimento tecnológico acelerado e pela competitividade, a busca por novos processos de usinagem que aumentem a produção e a qualidade, e diminuam o custo dos produtos, tornou-se o objetivo principal das empresas.

2.2 ROSQUEAMENTO

O rosqueamento é um dos processos mais importantes da usinagem devido sua utilização e complexidade. Aparece geralmente como uma das últimas operações a serem realizadas na peça, possuindo assim um alto valor agregado. Qualquer problema que venha a acontecer no processo poderá resultar em retrabalho da peça ou até mesmo na sua perda, resultando assim em desperdício de tempo, matéria prima e consequentemente dinheiro.

Para um bom entendimento do processo de rosqueamento é preciso antes de mais nada conhecer suas terminologias e símbolos. Estes são definidos pela ABNT, através da norma NBR 5876 que segue, no geral, a mesma linha das normas da ISO, DIN, ANSI (STEMMER, 1995).

Segundo a NBR 5876, rosca pode ser definida por uma superfície composta gerada por um ou mais perfis, quando todos os seus pontos descrevem hélices (rosca cilíndrica) ou espirais cônicas (rosca cônica) coaxiais de mesmo passo.

As roscas são usadas em numerosos elementos de máquinas e podem ser classificadas em dois tipos básicos: roscas de fixação e de movimento (STEMMER, 1995). As roscas de fixação têm por objetivo unir duas ou mais peças entre si, como por exemplo, parafusos,

porcas e barras roscadas. Já as roscas de movimento destinam-se a transmitir potências e movimentos, geralmente transformando movimentos giratórios em lineares como, por exemplo, os fusos de tornos e de fresas convencionais.

As roscas podem ser ainda direitas ou esquerdas, sendo a primeira definida como aquelas que, vistas axialmente e acopladas com peça roscada fixa, se afastam do observador quando giradas no sentido horário e a segunda, aquelas que se afastam do observador quando girada no sentido anti-horário (STEMMER, 1995).

Outra característica das roscas é quanto ao número de entradas, que podem ser de uma, gerada apenas por um perfil ou de várias, geradas por dois ou mais perfis. Quanto a geometria do perfil podemos citar as roscas mais comumente usadas as de perfis triangular, trapezoidal, quadrada e redonda. A Figura 2-2 mostra o desenho do perfil básico de uma rosca, definida pela ABNT.

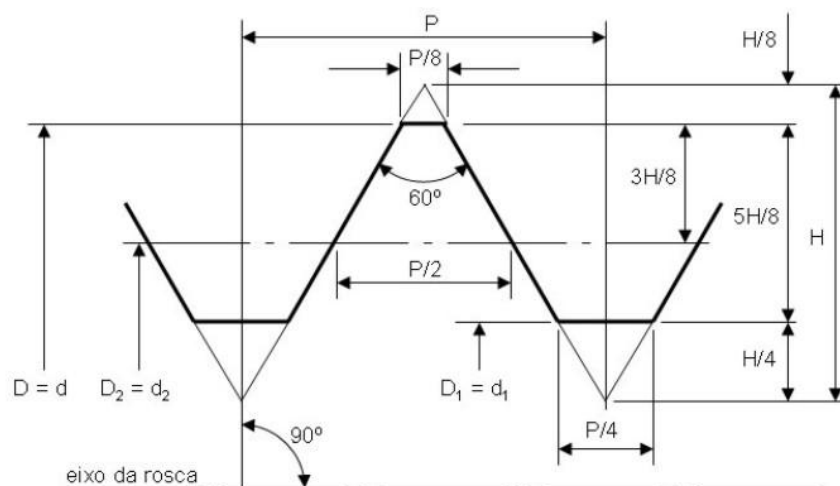


Figura 2-2 Perfil básico de uma rosca métrica.
Fonte: ABNT (1986)

O rosqueamento pode ser realizado tanto em superfícies externas (eixos) quanto em superfícies internas (furos), sendo cada rosca, feita com diferentes tipos de ferramentas. O rosqueamento externo é definido como um processo executado em superfícies externas cilíndricas ou cônicas de revolução (FERRARESI, 1970). Pode ser realizado por ferramenta simples ou múltipla de filetar, cossinetes ou ainda, com fresas de perfis especiais. O rosqueamento interno, por sua vez, é definido como um processo executado em superfícies

internas cilíndricas ou cônicas de revolução (FERRARESI, 1970). Pode ser realizado por ferramenta simples ou múltipla de filetar, machos de roscar ou por fresas especiais.

Para a produção de roscas externas, as ferramentas intercambiáveis de metal duro são as mais utilizadas, porém, para a produção de roscas internas, os machos de roscar são hoje as ferramentas mais utilizadas, por sua produtividade, exatidão das roscas produzidas e pela gama de dimensões que oferecem.

2.3 ROSQUEAMENTO COM MACHOS DE ROSCAR

O macho de roscar é uma ferramenta de múltiplas arestas de corte, podendo ser utilizado de forma manual ou em máquinas. A maneira na qual o macho produz a rosca ocorre através de seu movimento de rotação (combinado com o movimento axial) retirando material de furos previamente usinados, formando os filetes da rosca no formato do perfil da ferramenta (DA MOTA, 2006). O avanço axial do macho é determinado pelo passo da rosca e é inalterável. Chegando ao final da rosca o macho para, reverte sua rotação e retorna até um ponto qualquer afastado do furo.

O processo de rosqueamento com machos é de extrema complexidade, devido a dificuldade, tanto de remoção dos cavacos, como a de lubrificação das arestas de corte (REIS et al., 2004). A relação fixa e inalterável que existe entre a velocidade de corte e o avanço, que é definido pelo passo da rosca, também constitui um problema para o processo.

A situação se agrava ainda mais quando o furo da rosca a ser produzida não é passante, pois os cavacos gerados costumam acumular e se compactar no fundo do furo, podendo travar o avanço do macho, causando sua quebra. Outro problema gerado pelos furos não passantes é a velocidade de corte do macho, que deve ser reduzida devido a necessidade de rápida reversão da rotação na conclusão da rosca.

2.4 MACHO DE ROSCAR

O macho de roscar é uma ferramenta com filetes externos e rasgos longitudinais ou helicoidais formando arestas cortantes e sulcos para saída de cavaco (FREIRE, 1977;

STEMMER, 1995). É uma ferramenta específica para execução de roscas internas e pode ser utilizado manualmente, com o auxílio de desandadores, ou em máquinas como furadeiras, tornos, centros de usinagem e rosqueadeiras. A Figura 2-3 mostra a representação de um macho de roscar, onde podem ser vistos os elementos principais da ferramenta (STEMMER, 1995):

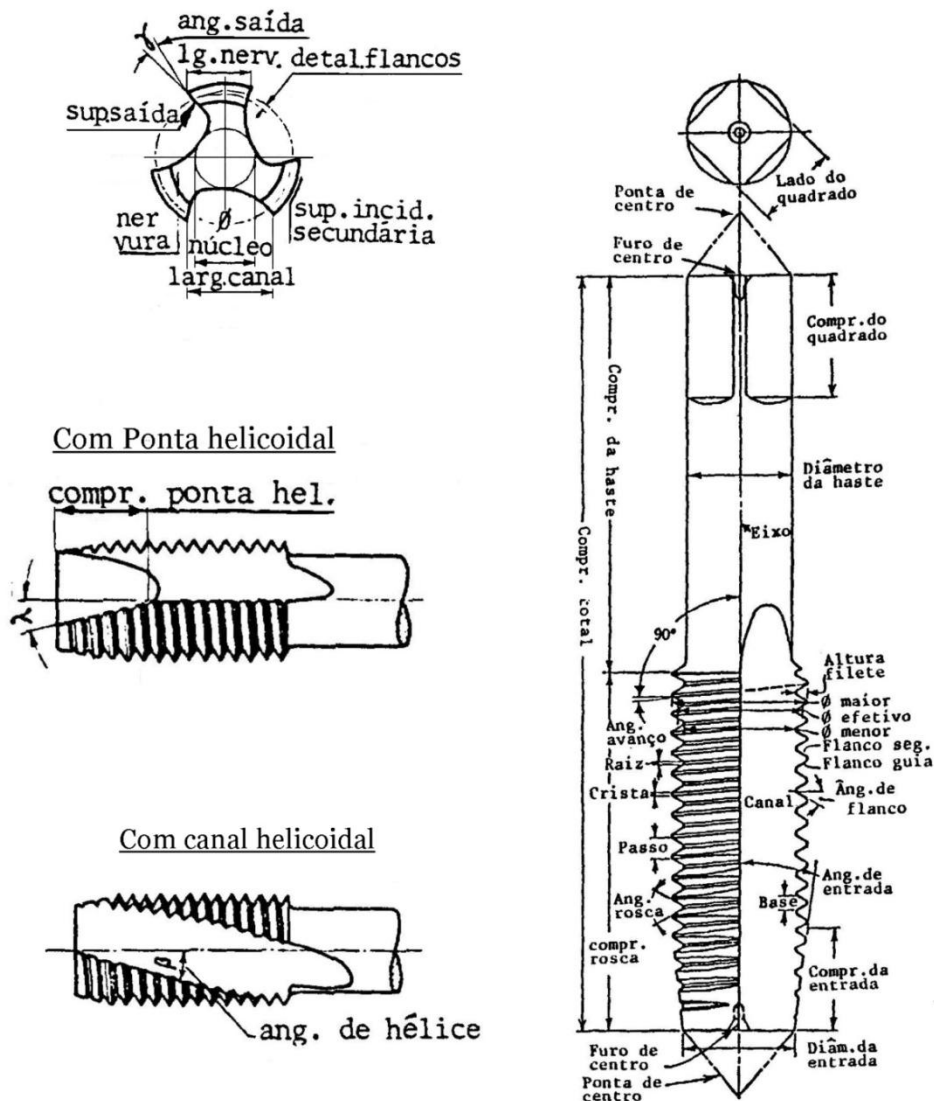


Figura 2-3 Componentes principais de um macho de roscar.

Fonte: Figura adaptada de STEMMER (1995)

- Entrada ou chanfro: É a retificação cônica dos filetes na entrada do macho. Tem o objetivo de distribuir a ação de corte entre vários dentes.
- Ângulo de entrada ou de chanfro: É o ângulo formado entre a entrada ou chanfro e o eixo do macho.

- Ângulo de incidência no chanfro: Formado entre a tangência da superfície de incidência num ponto do gume e uma linha radial passando pelo mesmo ponto.
- Eixo: Reta imaginária que forma a linha longitudinal do centro da ferramenta.
- Crista: A parte da superfície da rosca que une os flancos da rosca e é a mais afastada do eixo do macho.
- Raiz: É a parte da superfície da rosca que une dois flancos adjacentes e coincide ou é imediatamente adjacente ao cilindro ou cone do qual sobressai a rosca.
- Flanco: Cada uma das faces laterais de um filete, que une a crista com a raiz.
- Flanco de guia: É o flanco da rosca voltado para a ponta chanfrada na entrada do macho.
- Flanco seguidor: Face do filete oposta ao flanco de guia.
- Canais: As ranhuras longitudinais executadas no macho para criar as arestas de corte e promover espaço para os cavacos e passagem para o fluido de corte. Estas ranhuras podem ser retas ou em formato de helicóide, dependendo do tipo de macho.
- Passo: Distância medida paralelamente ao eixo, entre pontos correspondentes de dois perfis adjacentes, no mesmo plano axial e do mesmo lado do eixo.
- Diâmetro de entrada: Diâmetro inicial da parte chanfrada do macho.
- Ângulo de saída: Ângulo entre a tangente a superfície de saída e uma linha radial, a partir da crista dos filetes, na aresta de corte.
- Redução de diâmetro: É a redução gradual do diâmetro da rosca após o chanfro de entrada até a haste.
- Incidência no chanfro: É o gradual decréscimo na altura da nervura, desde o gume até a o calcanhar, na parte chanfrada do macho, com o objetivo de gerar espaço livre radial.

2.4.1 Tipos de machos de roscar

Os machos de roscar são ferramentas de corte de uso exclusivo para fabricação de roscas internas. São divididos, conforme a geometria dos seus filetes, canais e tipos de

aplicação. A Figura 2-4 mostra os principais tipos de machos utilizados nas indústrias, tendo cada modelo, características específicas.

Os machos com canais retos (Figura 2-4-A) são os mais utilizados por serem adequados para a maioria dos materiais, principalmente aços e ferros fundidos.

Para furos passantes (furos cegos), os machos com canais helicoidais (Figura 2-4-B) são os mais indicados para a fabricação de roscas. Os canais helicoidais transportam os cavacos para trás, em direção a saída do furo, afastando-os das arestas cortantes, evitando que se compactem nos canais da ferramenta ou no fundo do furo. Desta maneira minimiza-se o perigo de quebrar o macho ou de danificar a rosca (DORMER, 2009).

Os machos com ponta helicoidal (Figura 2-4-C) possuem canais retos e rasos, proporcionando maior rigidez ao núcleo, enquanto que sua ponta, com canais inclinados é projetada para impulsionar os cavacos para frente, evitando que se acumulem nos canais (STEMMER, 1995). São recomendados para furos passantes, onde os cavacos possam sair livremente pela frente da ferramenta.

Quando se necessita de machos robustos, de geometria rígida, os machos com entrada somente no chanfro (Figura 2-4-D), possuem grande aplicação. Estas ferramentas possuem a parte cortante formada por canais inclinados, da mesma maneira que os machos de ponta helicoidal, porém, sem o canal de saída, o que aumenta a rigidez da ferramenta, proporcionando bons resultados de usinagem. Sua desvantagem está no curto comprimento da entrada que limita sua aplicação a uma profundidade de furo menor que aproximadamente 1,5 vezes o diâmetro do macho.

Outros tipos de machos pouco conhecidos são os machos com rosca interrompida (Figura 2-4-E), que possuem os filetes espaçados de forma intercalada entre suas nervuras, diminuindo a quantidade de filetes, proporcionando menor atrito e resistência entre a ferramenta e a peça, o que é importante para a usinagem de materiais mais dúcteis como alumínio ou bronze (DORMER, 2009).

Os machos com furo de refrigeração interna (Figura 2-4-F) possuem um desempenho mais elevado que os mesmos tipos sem furo, por permitirem uma melhor evacuação dos cavacos, que são afastados da área de corte pelo fluido refrigerante. O desgaste das arestas cortantes também é reduzido, pois o efeito do resfriamento na zona de corte é mais elevado.

Existem ainda ferramentas para uso específico na fabricação de porcas, como o caso dos machos para porcas (Figura 2-4-G), que são utilizadas em máquinas especiais projetadas para o rosqueamento de grandes quantidades de porcas. Possuem haste mais comprida e de

diâmetro menor que o nominal, para acumular o maior número possível de porcas depois de realizadas as roscas (STEMMER, 1995). Pelas características da ferramenta, são utilizadas também para rosqueamento em furos passantes e profundos (DORMER, 2009).

Ferramentas relativamente recentes são os machos broca (Figura 2-4-H), que acumulam a função de furar e fazer rosca. Suas limitações, entretanto, estão na utilização restrita em furos passantes e de profundidade limitada.

Outra forma de produzir roscas é através dos machos laminadores ou de deformação a frio (Figura 2-4-I), que se diferenciam dos machos de roscar convencionais através da rosca, que é produzida pela deformação plástica do material da peça ao invés da ação de corte tradicional (STEMMER, 1995). Isto significa que não é produzido nenhum cavaco durante a ação da ferramenta.

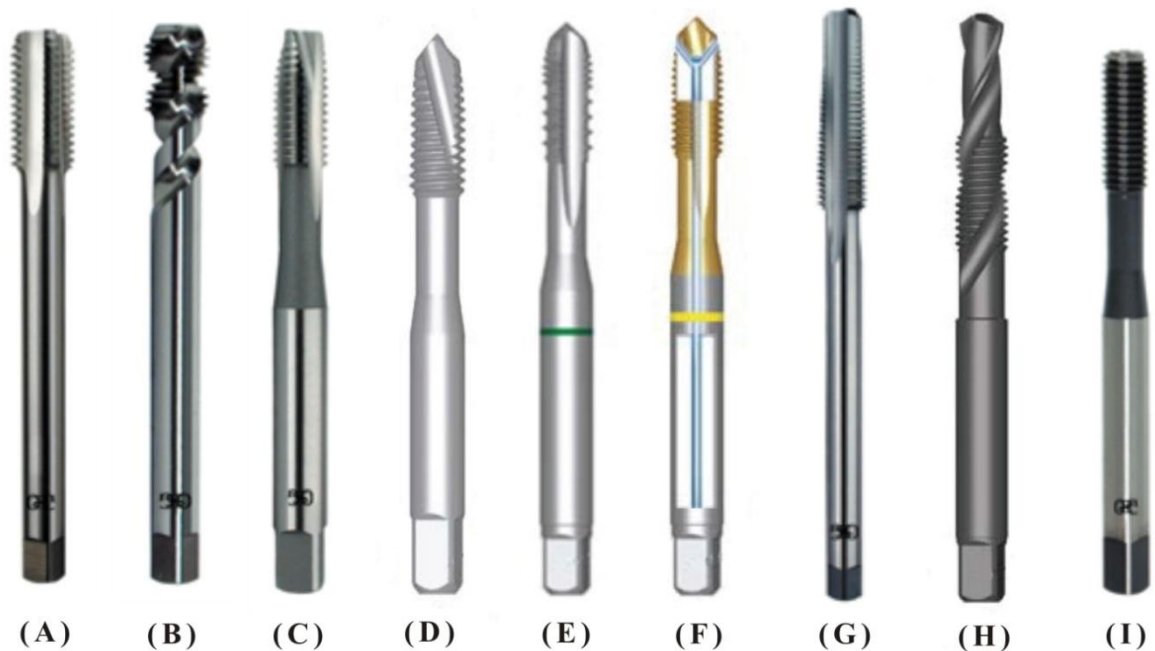


Figura 2-4 Tipos de machos utilizados na indústria: A) Macho com canais retos; B) Macho com canais helicoidais; C) Macho com ponta helicoidal; D) Macho com entrada somente no chanfro; E) Macho com rosca interrompida; F) Macho com furo de refrigeração interna; G) Macho para porcas; H) Macho broca; I) Macho laminador ou de deformação a frio.

Fonte: Figura adaptada do catálogo geral da Dormer (2009) e OSG (2010)

2.4.2 Materiais dos machos de roscar

Talvez o período da história mais significativo para o surgimento dos materiais usados na fabricação de ferramentas tenha sido o início do século XXI, quando Taylor, juntamente com White, desenvolve um tipo de aço contendo 0,7% de carbono e 14% de tungstênio, considerado hoje, um protótipo dos aços rápidos modernos (FERRARESI, 1970).

O segundo marco na história da evolução dos materiais para ferramentas de corte ocorreu em 1920, na Alemanha, quando Karl Schroter consegue, pela primeira vez, produzir em laboratório o carboneto de tungstênio em pó, que misturado ao cobalto, também em pó, faz nascer as primeiras ferramentas de metal duro, revolucionando os processos de usinagem (SANTOS, 2007).

Nos dias atuais, os materiais utilizados na fabricação de machos são bastante amplos e vão desde os aços rápidos até o metal duro com revestimentos, sendo escolhidos conforme a aplicação da ferramenta, produção ou custos.

Surgido no início do século XIX, os aços rápidos são materiais de alta liga, tendo como principais elementos em sua composição o tungstênio, molibdênio, cromo, vanádio, cobalto e nióbio (DINIZ, 2000), onde cada um atribui características distintas ao material. Os aços rápidos têm grande aplicação na fabricação de diversas ferramentas de corte, como por exemplo, brocas, alargadores, fresas, machos e cossinetes.

O cromo e carbono são os responsáveis pela temperabilidade dos aços rápidos, aumentando sua dureza. O tungstênio e o molibdênio têm a função de formar carbonetos, que são responsáveis pela elevação da resistência ao desgaste e pela dureza a quente do material, sendo que cada elemento forma classes diferentes de aços rápidos. O cobalto é outro elemento que aumenta a dureza a quente desses aços.

Com a adição de altos teores de vanádio na composição dos aços rápidos, surgem os aços super rápidos ou aços rápidos especiais (HSS-E), que possuem maior resistência ao desgaste, com consequente aumento da eficiência no corte.

Outra forma de produzir os aços rápidos é através da metalurgia do pó (HSS-PM), possuindo a vantagem de ter maior quantidade de elementos de ligas em sua composição, devido a matriz do material, que apresenta partículas de carbonetos menores e mais dispersas (SANTOS, 2007).

Outros materiais fabricados, também pela metalurgia do pó, são os metais duros, que são produzidos através de partículas duras de carbonetos de metais refratários, que são sinterizados com um ou mais elementos do ferro (ferro, níquel ou cobalto) formando um corpo de alta dureza e resistência a compressão (DINIZ, 2000). O metal duro se caracteriza por elevada resistência a compressão, alta dureza, elevada resistência ao desgaste, mas com resistência a flexão e tenacidade limitadas (DORMER, 2009).

2.4.3 Tratamentos e revestimentos superficiais dos machos de roscar

No processo de rosqueamento, o atrito do macho com a peça e os cavacos, juntamente com a energia gasta para deformar o material, geram grandes quantidades de calor. Este calor é um dos grandes responsáveis pelo desgaste das ferramentas, pela dilatação térmica e pelo dano térmico causado a estrutura superficial da peça (DINIZ, 2000). Para minimizar estes problemas, algumas das soluções encontradas foram os tratamentos e os revestimentos superficiais, que garantem maior resistência térmica, menor adesão e atrito entre a ferramenta e a peça durante a usinagem.

As primeiras referências sobre a aplicação de revestimentos em peças e componentes, visando melhorar a resistência ao desgaste, datam da década de 1930 onde fabricantes suíços, que queriam aumentar a vida dos componentes de seus relógios, já estudavam o assunto (SUR, 1976 apud SANTOS, 2007). Já os primeiros estudos sobre revestimentos para ferramentas de corte são da metade da década de 1960, que na época resultaram em um método de deposição de metais como o háfnio, que participava da formação de carbonetos estáveis.

Em 1969 entravam no mercado as primeiras ferramentas revestidas com TiC (carboneto de titânio) desenvolvidas pela empresa Sandvik (SUR, 1976; HATSCHEK, 1983 apud SANTOS, 2007), apresentando excelentes resultados de resistência ao desgaste abrasivo, adesivo, oxidação e deformação plástica (LEE et al., 1974 apud SANTOS, 2007).

2.4.3.1 Tratamentos superficiais

Além da têmpera e do revenimento, outros tratamentos podem ser dados as ferramentas para melhorar suas características mecânicas, térmicas e tribológicas. Dentre eles, se destacam o revenimento a vapor, a nitretação e o cromo duro.

O revenimento a vapor é um tratamento que proporciona uma superfície de elevada aderência de óxido azul, que age retendo o fluido de corte, minimizando a formação de arestas postiças (DORMER, 2009).

A nitretação é um processo utilizado para aumentar a dureza e a resistência ao desgaste da superfície das ferramentas. O processo pode ser realizado através de banho de sal cianídrico ou através de técnicas de controle de plasma utilizando um gás de reação, como por exemplo, uma mistura de NH_3 e H_2 (SAKAMOTO et al., 2001 apud DA MOTA, 2006). É particularmente adequado para machos utilizados em materiais abrasivos, tais como ferro fundido e baquelite (DORMER, 2009).

O cromo duro, na aplicação superficial, sob condições específicas, aumenta significativamente a dureza da superfície das ferramentas, atingindo valores de até 68 HRC (DORMER, 2009). É utilizado em ferramentas para o rosqueamento de aços do tipo ligado, aços ao carbono, cobre e latão.

2.4.3.2 Revestimentos superficiais

A deposição de revestimentos em ferramentas tem como objetivo evitar o contato direto entre o substrato da ferramenta e o material da peça durante a usinagem, diminuindo o atrito e aumentando a resistência ao desgaste, com conseqüente aumento da vida das ferramentas.

Um dos primeiros revestimentos utilizados em ferramentas de corte foi o nitreto de titânio (TiN), que é um revestimento aplicado através da deposição física de vapor (PVD). A elevada dureza, combinada com propriedades de baixo atrito, proporciona à ferramenta uma vida consideravelmente mais longa, com um melhor desempenho de corte em comparação às

ferramentas sem revestimentos (DORMER, 2009). O TiN é um revestimento bastante utilizado, possuindo um excelente custo benefício.

O revestimento com carbonitreto de titânio (TiCN) apresenta características superiores ao TiN, como maior dureza e um coeficiente de atrito mais baixo. Sua estrutura multicamadas evita que uma trinca formada na superfície se propague até o substrato da ferramenta, aumentando sua vida útil (SANTOS, 2007).

Com o objetivo de elevar a resistência ao calor das ferramentas, melhorando seu rendimento nas usinagens a seco, foram desenvolvidos revestimento como o nitreto de titânio e alumínio (TiAlN), que possuem elevada resistência a oxidação, baixa condutividade térmica, alta estabilidade química e alta dureza a frio e a quente (DINIZ, 2000).

Outros revestimentos, como os multicamadas, foram desenvolvidos visando reunir as propriedades dos vários revestimentos como o TiN, TiCN e o TiAlN, podendo ser constituídos de até 25 camadas (SANTOS, 2007). Existem ainda as coberturas duras lubrificantes, que colocadas, normalmente em cima de outras camadas, reduzem a geração de calor e os esforços de corte. Pode-se destacar os materiais para este fim, o bissulfeto de molibdênio (MoS_2) e o carboneto de tungstênio com carbono (WC/C).

2.5 MÁQUINAS E EQUIPAMENTOS PARA ROSCAR COM MACHOS

Os machos de roscar necessitam do auxílio de ferramentas específicas para seu funcionamento. Estas ferramentas podem ser desde desandadores, que transformam a força humana em torque, para o macho produzir a rosca, até dispositivos especiais como os porta-ferramentas que fixam os machos às máquinas.

2.5.1 Dispositivos de fixação

A fixação dos machos nas máquinas é feito através de dispositivos de fixação, sendo mais conhecidos, os porta-ferramentas de haste cônica, mostrado na Figura 2-5. Os porta-ferramentas são definidos como dispositivos que agem como uma interface intercambiável entre o fuso de uma máquina e uma ferramenta de corte, de maneira que não seja diminuída a

eficiência entre eles (DORMER, 2009). Estes dispositivos se dividem em três partes principais: Haste cônica, flange e mecanismo de prender a ferramenta.



Figura 2-5 Porta ferramentas tipo cone.
Fonte: ISCAR (2009)

Para rosqueamento com machos, utilizam-se os porta-ferramentas de haste cônica rígidos ou os flutuantes. Os porta-ferramentas flutuantes tem como característica compensar a falta de sincronismo entre os movimentos de avanço e de rotação do eixo árvore da máquina no processo de rosqueamento (REIS et al., 2004).

Outro dispositivo utilizado para fazer roscas são os cabeçotes de rosqueamento. Estes podem ser divididos em normais e auto-reversos, sendo estes últimos caracterizados por inverterem a rotação após a conclusão da rosca, sem que a máquina precise fazê-lo. A Figura 2-6 mostra um exemplo de cabeçote auto-reverso, utilizados tanto em equipamentos convencionais como em máquinas CNC.

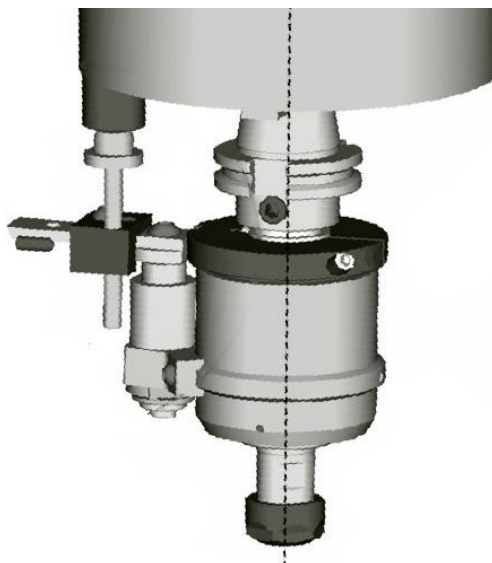


Figura 2-6 Cabeçote de rosqueamento auto-reverso.
Fonte: Figura adaptada de SCMSRL (2010)

2.5.2 Máquinas para rosqueamento

São inúmeras as máquinas que podem utilizar os machos de roscar no processo de rosqueamento. Dentre as mais comuns estão os tornos, tanto convencionais quanto CNC, onde as ferramentas são fixadas em dispositivos presos ao contra ponto ou em cabeçotes móveis.

Dentre os equipamentos específicos para a utilização de machos estão as rosqueadeiras articuláveis, que se caracterizam por permitirem movimentos da ferramenta em várias direções. A Figura 2-7 mostra um exemplo desse tipo de equipamento.



Figura 2-7 Rosqueadeira articulável.
Fonte: Maquinas Dauer (2010)

2.6 FLUIDOS DE CORTE

A principal função dos fluidos de corte na usinagem são refrigerar em altas velocidades e lubrificar em baixas velocidades de corte (SANTOS, 2007). Possuem ainda, outras funções auxiliares como remoção do cavaco e proteção contra corrosão.

O primeiro pesquisador que constatou e mediu a influência do fluido de corte durante o processo de usinagem foi o americano Frederick Winslow Taylor (1894). Aplicando grande quantidade de água na região peça-ferramenta-cavaco, com o intuito de diminuir a temperatura da ferramenta, Taylor conseguiu aumentar a velocidade de corte sem diminuir a vida da ferramenta.

Mais tarde surgiram os óleos graxos, de origem animal ou vegetal, que eram usados em todos os processos de usinagem, no intuito de diminuir o atrito do cavaco sobre a ferramenta. Logo após apareceram os óleos minerais, inicialmente empregados na usinagem de ligas não ferrosas e mais tarde em aços de baixo teor de carbono.

Inúmeras pesquisas levaram a utilização das mais variadas combinações de óleos minerais, óleos graxos, e aditivos (enxofre, cloro, fósforo, etc.), com o intuito de melhorar as características refrigerantes e lubrificantes, bem como reduzir custos de fabricação, tendo cada combinação, seu emprego específico. Surgem também, os óleos emulsionáveis que aproveitam a alta propriedade refrigerante da água (FERRARESI, 1970). Mais recentemente surgem os fluidos químicos de corte, constituídos de uma combinação de agentes químicos com água.

Quanto aos tipos de fluidos de corte, não existe uma padronização que estabeleça uma classificação entre as empresas fabricantes. Uma das maneiras de classificá-los é da seguinte forma (SANTOS, 2007):

- Aquosos: água, soluções químicas e emulsões;
- Óleos: minerais, graxos, compostos, de extrema pressão e de usos múltiplos;
- Gases: ar, dióxido de carbono e nitrogênio.

Os óleos de origem animal foram os primeiros lubrificantes empregados, mas logo se mostraram ineficazes devido ao alto custo e rápida deterioração.

Os óleos minerais são hidrocarbonetos obtidos do refinamento do petróleo, podendo ser de base parafínica, aromática e naftênica. O primeiro é o mais utilizado na fabricação dos óleos. Os de base aromática por serem excessivamente oxidantes, são apenas misturados aos de base parafínica, e os de base naftênica estão caindo em desuso devido a problemas que causam à saúde.

Outro grupo de fluidos de corte são os emulsionáveis que são óleos minerais adicionados à água juntamente com agentes emulgadores, que garantem miscibilidade e aditivos anticorrosivos que neutralizam os efeitos nocivos da água. São usados ainda biocidas para inibir o crescimento de bactérias e fungos (SANTOS, 2007).

Os fluidos sintéticos são feitos com substâncias químicas que formam uma solução junto com a água. Seus principais componentes são os sais orgânicos e inorgânicos, aditivos de lubricidade, biocidas e inibidores de corrosão. Os fluidos sintéticos não possuem óleo mineral na sua composição.

Apesar das vantagens oferecidas pelos fluidos de corte na usinagem, estes são indesejáveis no processo, devido a problemas econômicos, ambientais e trabalhistas, promovendo uma busca por alternativas que possam substituir os fluidos de corte na usinagem dos metais (BEZERRA, 2004). Dentre elas, vem se destacando a MQL (*Minimum Quantity Lubrication*) e a usinagem sem lubrificação propriamente dita.

2.7 DESGASTES E AVARIAS EM FERRAMENTAS DE CORTE

Praticamente todos os ramos da engenharia enfrentam problemas com desgastes e avarias. Na usinagem esse problema causa grande prejuízo às indústrias, devido não somente a perda de ferramentas, mas também prejudicando a produção e a qualidade das peças fabricadas. Durante qualquer processo de usinagem é inevitável a troca da ferramenta de corte e isso se deve a dois fatores principais, que são os desgastes e as avarias.

O desgaste em ferramentas pode ser definido, segundo a norma ISO 3685 de 1977, como sendo a mudança original da ferramenta de corte, resultante da perda gradual do material cortante. O desgaste é um fenômeno prejudicial às ferramentas de corte e o conhecimento dos seus mecanismos é de extrema importância para a seleção correta das ferramentas e das condições de usinagem.

Dentre os mecanismos de desgastes, a abrasão é caracterizada pelo “arrancamento” de finas partículas de material, em decorrência do escorregamento (sob altas pressões e temperatura) entre a peça e a ferramenta. Outro fenômeno que ocorre em função das altas pressões e temperatura é a aderência, que acontece entre o material da peça e da ferramenta, podendo formar, como consequência, arestas postizas de corte. Já o desgaste por oxidação, se caracteriza pela formação de carrepas na superfície da peça.

A difusão ocorre em temperaturas mais elevadas, onde átomos da ferramenta são transferidas para a peça. Ocorre principalmente nas ferramentas de metal duro, que em temperaturas na ordem de 700°C a 1300°C, geram fenômenos como a difusão de cobalto no aço, formando uma camada de cristais mistos (STEMMER, 2001). Nessas temperaturas, pode ocorrer também a difusão do carbono, que é retirado dos carbonetos duros da ferramenta, seguindo para o aço da peça.

Durante o processo de usinagem, outro mecanismo de desgaste acontece, através da formação de correntes elétricas, devido ao aquecimento do ponto de contato entre a peça e a ferramenta. Este fenômeno é responsável pela magnetização observada em algumas ferramentas após a usinagem.

As avarias que ocorrem em ferramentas de corte podem ser definidas como processos de destruição da ferramenta que ocorrem de maneira repentina e inesperada, causadas pela quebra, lasca ou trinca da ferramenta (DA MOTA, 2006).

As avarias, como o lascamento, caracterizam-se por retiradas de grandes partículas (lascas) da ferramenta de corte. Elas ocorrem principalmente em ferramentas de material frágil. As trincas, por sua vez, ocorrem geralmente pela variação da temperatura durante o processo de usinagem.

Outro tipo de avaria que pode ser considerado é a quebra da ferramenta, que pode ocorrer, devido ao crescimento dos desgastes e avarias ou de maneira inesperada. A quebra da ferramenta prejudica não só a peça que está sendo usinada, mas em alguns casos pode danificar o suporte, comprometendo a fixação dela.

A deformação plástica é outro fenômeno considerado como avaria (DINIZ, 2000). É caracterizado pela deformação plástica da aresta de corte, provocada pelas altas pressões aplicadas a ferramentas e somadas com a alta temperatura durante o processo.

Na Figura 2-8 é possível verificar os principais mecanismos de desgastes e avarias ocorridos em machos de roscar, de acordo com os principais fabricantes de ferramentas. Para este tipo específico de ferramentas pode-se destacar ainda o rasgamento, que é o “arrancamento” da superfície superior de um ou mais filetes do macho, e a soldagem, que é a adesão de materiais da peça sobre as superfícies dos filetes do macho, acompanhada ou não de “arrancamento” de material da ferramenta (DA MOTA, 2006).

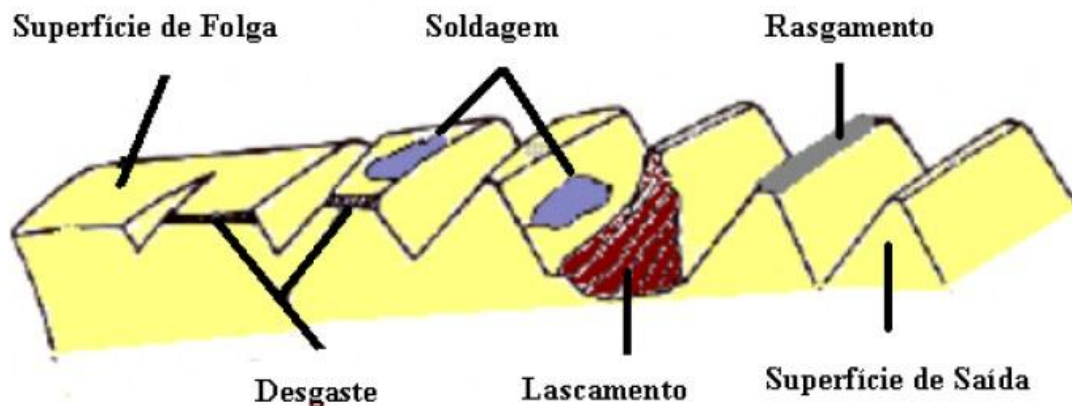


Figura 2-8 Principais desgastes e avarias em machos de roscar
 Fonte: OSG (1999) apud Da Mota (2006)

2.8 PROBLEMAS QUE OCORREM EM ROSCAS USINADAS COM MACHOS DE ROSCAR

Até o momento abordou-se os principais desgastes e avarias que ocorrem em ferramentas de usinagem. Porém, deve-se destacar aqui as conseqüências que elas provocam na peça pronta, já que muitas vezes isso provoca retrabalho ou até sucateamento dela. Muitas vezes os defeitos apresentados nas roscas são premissas de que algo está errado no processo, podendo o erro ser diagnosticado e corrigido a tempo de evitar problemas maiores.

Por isso, é importante que se saiba diagnosticar os problemas com antecedência para evitar este tipo de inconveniente. A maioria dos fabricantes de machos de roscar traz, em seus catálogos, os principais problemas que ocorrem em roscas usinadas por suas ferramentas, com suas possíveis causas e soluções. Dentre os principais problemas que ocorrem nas roscas fabricadas por machos, pode-se destacar as super-dimensões, infra-dimensões e escamações (DORMER, 2009; WALTER, 2009).

A super-dimensão da rosca ocorre quando as tolerâncias superiores dela são ultrapassadas, acarretando em uma rosca com dimensões maiores e com conseqüente folga. A ocorrência deste tipo de problema se deve por inúmeros fatores, como tolerância incorreta do macho, avanço axial da ferramenta incorreta, macho não centralizado em relação ao furo e falta de lubrificação. Este problema pode ser resolvido ou minimizado com a escolha de um macho com menor afastamento superior na tolerância, verificar e ajustar, se necessário, o avanço axial da ferramenta e verificar se há excentricidade do macho em relação ao furo.

A infra-dimensão é quando a rosca produzida fica com dimensões abaixo das tolerâncias especificadas, provocando roscas apertadas e com conseqüente interferência na montagem. Isso ocorre em materiais que tem tendência a infra-dimensão como os ferros fundidos e os aços inoxidáveis (DORMER, 2009). Furo pequeno e tolerância incorreta do macho são outras possíveis causas. A solução para este tipo de problema está normalmente na escolha correta da broca para o furo e na escolha de um maior afastamento superior na tolerância do macho.

A escamação é caracterizada pela presença de rebarbas que ficam no perfil da rosca, deixando a mesma com o formato característico de escamas. Isto ocorre devido a escolha incorreta do tipo de macho, lubrificação incorreta, superfície do furo endurecida, cavacos presos na reversão ou furo pequeno demais para o macho. A escolha de ferramentas com

revestimento superficial e utilização de velocidades de corte mais baixas, em usinagens de materiais de dureza elevada, podem solucionar o problema.

2.9 VIDA DAS FERRAMENTAS DE CORTE

Denomina-se vida de uma ferramenta o tempo em que a mesma trabalha efetivamente (deduzidos os tempos passivos), até perder sua capacidade de corte, dentro de um critério previamente estabelecido (FERRARESI, 1970; DINIZ, 2000). Esta perda de capacidade de corte é influenciada por fatores como a velocidade de corte, avanço, profundidade de corte, geometria da ferramenta, materiais da ferramenta e da peça, sendo que a primeira é que tem maior significância sobre a vida da ferramenta.

Para poder considerar que uma ferramenta chegou ao fim de vida, alguns critérios foram estabelecidos para se chegar a um ponto representativo, já que o fim de vida de uma ferramenta depende de exigências de usinagem, como exatidão de medida e grau de acabamento. Dentre estes critérios estão o acabamento da superfície usinada, tolerâncias dimensionais, elevação da temperatura na interfase cavaco-ferramenta, aumento da força de usinagem, nível de ruído e até a retirada da ferramenta por receio de quebra.

Pode-se expressar o fim de vida de uma ferramenta através do intervalo de tempo em que ela executa o corte sob determinadas condições, pelo comprimento total usinado, número de peças fabricadas ou o volume de material removido (DA MOTA, 2006).

2.10 FORÇAS E POTÊNCIAS NO ROSQUEAMENTO

O rosqueamento interno com macho de roscar é uma das operações que mais exigem da ferramenta, devido principalmente ao atrito gerado pelo acúmulo de cavacos no furo e pela lubrificação, nem sempre eficiente, da ferramenta. Isso acarreta em torques elevados que muitas vezes podem provocar até a quebra do macho.

O conhecimento das forças que agem no processo de rosqueamento é de grande importância, não só para avaliar a potência consumida durante o processo, mas também para um melhor dimensionamento dos dispositivos e máquinas que operam com essas ferramentas.

A operação de rosqueamento é considerada uma operação transiente, onde o ciclo normalmente dura alguns segundos e é dividido em dois estágios principais: Corte e Retorno (REIS et al., 2004). O estágio de corte pode ser dividido ainda em estado de imersão e estado estável de corte. O estado de imersão é o momento em que os filetes da parte cônica do macho entram na peça. Neste estado os esforços de corte variam com o tempo. No estado estável de corte, todos os dentes da parte cônica do macho já estão em ação, de forma que os esforços se mantêm mais ou menos constantes.

A Figura 2-9 mostra o comportamento do torque nas principais etapas do processo de rosqueamento executado com macho de roscar. Quanto maior a dimensão do macho, maior será o torque resultante. Outras variáveis como geometria do macho, material e o tipo de furo (cego ou passante) também influenciam no aumento do torque.

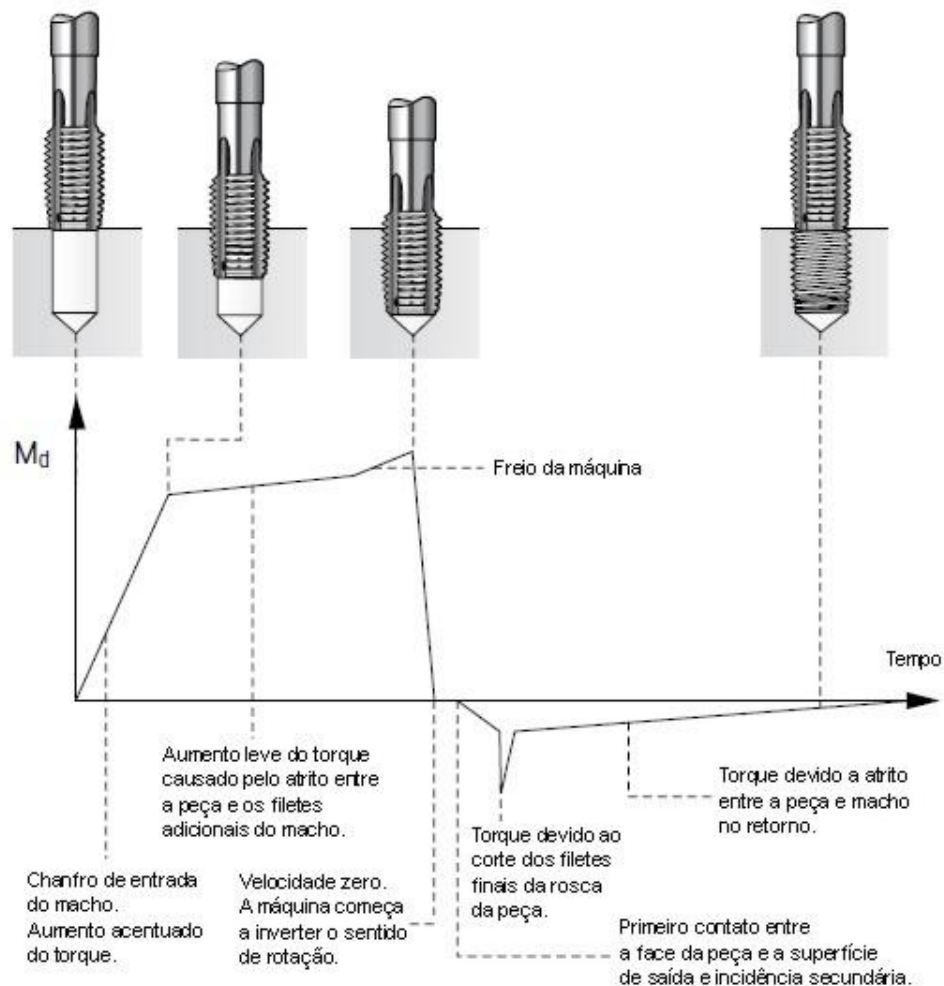


Figura 2-9 Gráfico de comportamento do torque durante o processo de rosqueamento.
Fonte: Figura adaptada de Walter (2009)

Outra força que aparece no processo de rosqueamento é a axial, e esta é influenciada diretamente pela geometria do macho (LINSS, 2002). Em ferramentas para abrir roscas em furos passantes, onde o macho utilizado geralmente é o de ponta helicoidal, o fluxo de cavacos ocorre no sentido do avanço da ferramenta, formando uma força de avanço no sentido axial contrário a do avanço da ferramenta. Já nos furos não passantes, onde o macho utilizado geralmente é o de canal helicoidal, o fluxo de cavacos ocorre em direção contrária a do avanço e a força axial ocorre no mesmo sentido do avanço da ferramenta.

As grandezas principais que influenciam nas forças do processo de rosqueamento são o material da peça, material da ferramenta, revestimento da ferramenta, geometria da ferramenta, processo, líquido lubrificante/refrigerante e alojamento da ferramenta na máquina (LINSS, 2002).

2.11 MEDIÇÃO DAS FORÇAS DE USINAGEM

O conhecimento das forças que agem durante o processo de corte é de grande importância para a usinagem, pois permitem o cálculo da potência consumida nos processos bem como o rendimento das máquinas.

Esses dados são utilizados também para os cálculos das estruturas e dos mecanismos que movimentam as máquinas de usinagem, considerando diferentes cargas e velocidades de trabalho (FERRARESI, 1970).

Para a obtenção dos dados de forças atuantes durante um processo de usinagem é necessário o mensuramento delas, feito através do uso de equipamentos específicos de medição, como dinamômetros ou torquímetros. As medidas das forças retiradas de um processo de usinagem podem ser divididas em medidas estáticas, que são as médias das forças atuantes em um determinado processo, ou medidas dinâmicas, que são as medidas das variações das forças de corte atuantes durante um processo (FERRARESI, 1970).

As medidas das forças de usinagem podem ser classificadas como diretas ou indiretas, sendo as forças diretas medidas através de métodos baseados na piezoelectricidade e na magneto-estricção, e as indiretas através de meios mecânicos, pneumáticos, hidráulicos ou elétricos, sendo este último sub-dividido em variação da indutância, variação da capacitância e variação da resistência elétrica.

O método de medir força direta através da piezoeletricidade é caracterizado pela geração de eletricidade por materiais submetidos a esforços mecânicos, como é o caso, por exemplo, do quartzo e a turmalina. Através destas cargas elétricas geradas, pode-se determinar a deformação e conseqüentemente os esforços aplicados ao sistema. O método da magneto-estricção, consiste na variação da permeabilidade magnética de certos materiais ferromagnéticos, sob a ação de solicitações mecânicas. Através desta variação de permeabilidade do material pode-se determinar o valor da força que age sobre um sistema.

As medidas retiradas de sistemas mecânicos se baseiam em deslocamentos de molas com leitura através de relógios comparadores. Já a pneumática é baseada no princípio SOLEX (FERRARESI, 1970), que é caracterizado pela deformação de uma mola, provocada pela força de usinagem, originando uma variação de uma seção de passagem de ar, com conseqüente variação de pressão. Essa variação é medida em um manômetro com sensibilidade adequada para a finalidade.

O princípio hidráulico é baseado na transmissão da força de usinagem, através de um sistema de alavancas, até uma membrana. Esta membrana comprime o óleo de um reservatório até um manômetro que faz a leitura. Por permitir grandes deslocamentos da ferramenta de corte, os resultados das medidas sofriam grandes alterações, fugindo do resultado correto. Hoje este tipo de equipamento não é mais fabricado, tendo somente valor histórico.

A medida das forças de usinagem, através do uso da eletricidade, ocorre pela variação de três grandezas:

- Variação da indutância: Ocorre geralmente em um sistema de duas bobinas. A medida da variação da indutância delas é feita através da mudança de posição de um núcleo de ferro em seu interior. Este núcleo é ligado a ferramenta de corte.
- Variação da capacitância: Consiste na medida de variação da capacidade de um condensador, devido a variação da distância entre suas armaduras.
- Variação da resistência elétrica: Ocorre através da variação da resistência elétrica de um fio condutor, devido a variação de sua seção, causado por uma força de tração ou compressão.

2.12 EQUIPAMENTOS DE MEDIDAS

Equipamentos de medidas são definidos como dispositivos utilizados para uma medição, estando eles, sozinhos ou em conjunto com dispositivos complementares (INMETRO, 2008). São de extrema importância para medir grandezas físicas como temperatura, deslocamento, tempo, força, velocidade, aceleração, umidade, pressão etc. (BORCHARDT, 1999).

Para cada grandeza, existem instrumentos específicos para sua medição, e na usinagem os mais conhecidos são os instrumentos de medição de comprimentos, como o paquímetro e o micrômetro, e os de forças como os dinamômetros e torquímetros.

2.13 TRANSDUTORES

Os transdutores são dispositivos que convertem um estímulo (sinal de entrada) em uma resposta (sinal de saída) proporcional, adequada à transferência de energia, medição ou processamento da informação (BORCHARDT, 1999). Em geral, o sinal de saída é uma grandeza física de natureza diferente do sinal de entrada. Estas grandezas podem ser elétricas mecânicas, químicas, ópticas ou térmicas.

O objetivo dos transdutores é detectar a informação e dar uma resposta, geralmente de natureza elétrica, correspondente a variável sob teste. Desta forma, qualquer dispositivo ou componente que se enquadra nesta definição pode ser visto como um transdutor.

A Figura 2-10 mostra o esquema representativo de transdutores, através de um retângulo onde é indicado o “estímulo” (sinal de entrada) e a “resposta” (sinal de saída) (BORCHARDT, 1999).



Figura 2-10 Representação esquemática de um transdutor
Fonte: Borchardt (1999)

Os transdutores podem converter sinais de pressão, força, deslocamento, temperatura, intensidade luminosa, variações de PH, elétricos, entre outros. Podendo ser classificados de acordo com a sua forma geométrica, forma de conversão de sinal, natureza do sinal de saída, entre outros.

2.14 TRANSDUTORES DE TORQUE DE EXTENSÔMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA.

Os transdutores de torque são equipamentos destinados a converter esforços de torque em sinal, geralmente elétrico, apropriado para verificação ou registro em equipamentos específicos. No caso de transdutores de torque que usam extensômetros de resistência elétrica, a medição do torque é obtida através da variação de tensão resultante da deformação do extensômetro juntamente com o “elemento mola” do transdutor, decorrente de esforços mecânicos aplicados ao sistema (DE BRITO, 1994). Os “elementos molas” dos transdutores de torque podem ter diferentes geometrias como cilíndricas, quadradas ou cruciformes.

Todo transdutor de torque é considerado um transdutor composto que pode ser dividido em três diferentes estágios de transdução (DE BRITO, 1994):

- Conversão de torque em deformação;
- Conversão de deformação em variação de resistência elétrica;
- Conversão de variação de resistência elétrica em variação de tensão.

2.15 EXTENSÔMETROS DE RESISTÊNCIA ELÉTRICA

O componente principal de um transdutor, cujo princípio seja o da variação de resistência elétrica, é o extensômetro. Sua descoberta se deve ao físico William Thomson (Lord Kelvin), que em 1856 constatou que havia variação na resistividade de fios metálicos, quando estes sofriam deformações, sendo este o princípio de funcionamento dos extensômetros. Essa descoberta só teve aplicação prática na realização de medidas em 1923, com os experimentos do americano Percy Williams Bridgman. Somente nas décadas de 1930

a 1940, com Roy Carlson, é que realmente se aplicou o princípio na construção de extensômetro de fio livre, que são utilizados até hoje em transdutores (BARRETO, 1998).

Os extensômetros são constituídos de um fio metálico condutor de dimensões pequenas (3 a 6 μm) em formato de grade, cujo comprimento é paralelo ao sentido da deformação que o extensômetro sofre. A grade metálica é coberta por filmes poliméricos ou de papel que tem a função de proteger e isolar eletricamente o filamento metálico. Tanto o material e o formato da grade como o material dos filmes de cobertura variam conforme a aplicação do extensômetro. A Figura 2-11 mostra os elementos principais de um extensômetro de resistência elétrica.

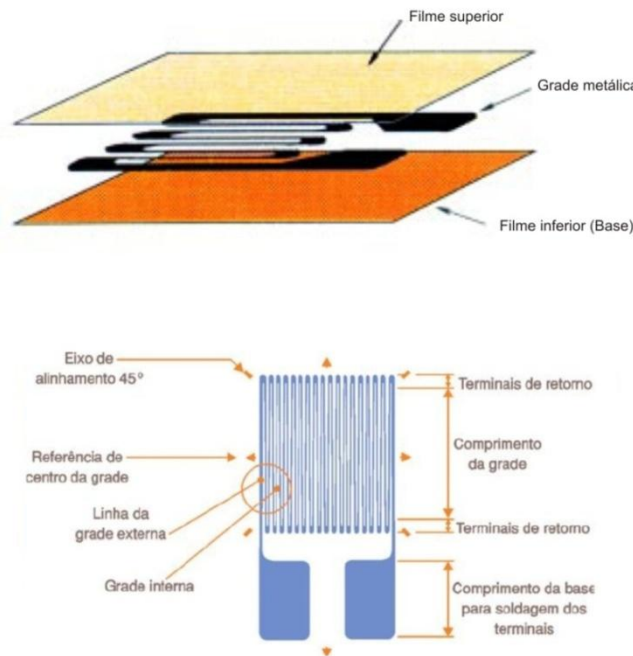


Figura 2-11 Componentes principais de um extensômetro de resistência elétrica.
Fonte: Figura adaptada de Mecatrônica atual (2009); Kyowa (2004)

O funcionamento de um extensômetro de resistência elétrica é baseado no princípio de que, quando um fio condutor está sujeito a um esforço de tração ou de compressão mecânica, ocorre uma variação de sua resistência elétrica. A intensidade da variação, relacionada com a resistência inicial é proporcional à intensidade do esforço aplicado (WEBER, 2008).

A variação relativa da resistência $\Delta R/R$ relaciona-se linearmente com a variação relativa do comprimento $\Delta L/L$, ou seja:

$$k = \frac{\frac{\Delta R}{R}}{\frac{\Delta L}{L}} \quad (2.1)$$

Onde R e ΔR são respectivamente, a resistência inicial do fio condutor e a diferença entre a resistência final e a inicial. Esses estão relacionados com L e ΔL que são o comprimento inicial do fio condutor e a diferença entre seu comprimento final e inicial. Esta relação é conhecida como fator “ k ” dos extensômetros e só é válida se a deformação ocorrer no regime elástico do material (BORCHARDT, 1982).

2.15.1 Fator “ k ” dos extensômetros

O fator “ k ” é uma propriedade do extensômetro que traduz a sua sensibilidade a deformação. É a razão entre a variação relativa da resistência e a deformação do material onde o extensômetro está fixado. O fator “ k ” geralmente é fornecido pelo fabricante do extensômetro e é obtido através de experimentos práticos. O valor de “ k ” é constante se a deformação se processa na região elástica do material do extensômetro (WEBER, 2008).

Os valores de “ k ” para os extensômetros de resistência elétrica mais empregados variam entre 2,0 e 2,6. Para a platina chega a valores entre 4,0 e 6,0 e para o níquel, o valor de “ k ” é negativo (-12,0), o que se conclui que quando se submete à tração, sua resistência elétrica diminui, ao contrário do que ocorre com os outros metais (BARRETO, 1998).

2.15.2 Capacidade de corrente de excitação do extensômetro

A corrente suportada pelo extensômetro tem grande importância na sensibilidade do sistema de medida, uma vez que a tensão de saída do aparelho em que está o extensômetro ligado, é diretamente proporcional à corrente de excitação. Mas, deve-se considerar a dissipação do calor gerado pelo efeito Joule nessas resistências, que podem implicar em erros de leitura.

A corrente que é imposta ao circuito depende das características do extensômetro, como o tamanho da grade, o tipo de material do filme de revestimento e o tipo de material em que os extensômetros estão colados. Instrumentos normais para uso em extensometria trabalham com correntes inferiores a 5 mA (BARRETO, 1998).

2.15.3 Ponte de Wheatstone

A ponte de Wheatstone é o circuito elétrico mais utilizado para a ligação de extensômetros, tanto para medidas de deformações estáticas como dinâmicas. Este tipo de circuito permite eliminar com facilidade a influência da temperatura no extensômetro (BARRETO, 1998).

A Figura 2-12 mostra um circuito ponte de Wheatstone constituído por quatro resistências sendo duas fixas (R_1 e R_3), um resistência regulável (R_2) para equilibrar a ponte e uma resistência incógnita (R_x), a qual se pretende medir, sendo o circuito alimentado por uma fonte de tensão constante “E” nos pontos “A” e “C”. Um galvanômetro “E+” é ligado entre pontos “B” e “D”. Quando a ponte está em equilíbrio, a tensão nos pontos “B” e “D” é zero e não há corrente elétrica passando no galvanômetro “E+”. Quando ocorre um desequilíbrio no circuito, provocado pela resistência incógnita (R_x), acontece a passagem de corrente elétrica entre os pontos “B” e “D”, que é indicada pelo galvanômetro.

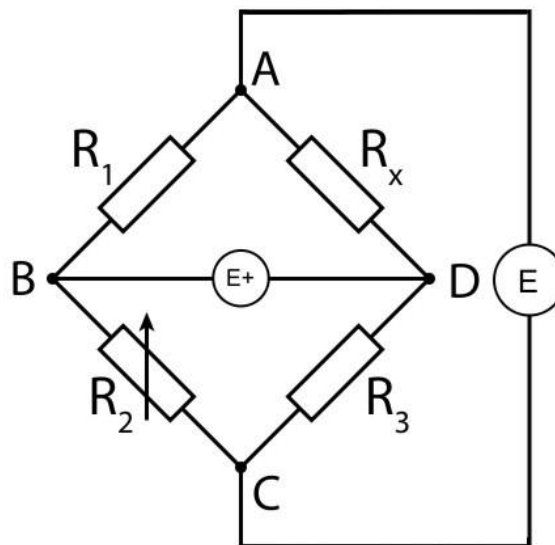


Figura 2-12 Exemplo de um esquema de circuito tipo Ponte de Wheatstone.
Fonte: Figura adaptada de Barreto (1998)

CAPÍTULO III

3 MATERIAIS E MÉTODOS

Neste capítulo são descritos os procedimentos experimentais realizados, dos quais se obtiveram os resultados que serviram de base para a realização deste trabalho. A metodologia foi definida em função da necessidade de obtenção dos torques no processo de rosqueamento. Os materiais, máquinas e ferramentas utilizadas foram os que se encontravam disponíveis na Universidade.

3.1 MATERIAIS

3.1.1 Machos

A escolha dos machos para a realização dos ensaios foi feita com base na utilização no meio industrial e na disponibilidade nos laboratórios da Universidade. A Tabela 3-1 mostra a relação de machos utilizados para os ensaios, com as principais características de cada um, retiradas dos catálogos de seus respectivos fabricantes.

Tabela 3-1 Relação de machos utilizados nos ensaios.

Bitola	Passo (mm)	Norma	Material	Revestimento	Tipo	Nº de canais	Fabricante
M6	1	DIN 371	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	3	TDC
M8	1,25	DIN 371	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	3	TDC
M8	1,25	DIN 371	HSS-E	TiN	Canais Helicoidais	3	TDC
M8	1,25	DIN 376	HSS	Sem	Canais Helicoidais	3	OSG
M8	1,25	DIN 376	HSS	Sem	Ponta Helicoidal	3	OSG
M10	1,5	DIN 371	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	3	TDC
M10	1,5	DIN 376	HSS	Sem	Canais Helicoidais	3	OSG
M10	1,5	DIN 376	HSS	Sem	Ponta Helicoidal	3	OSG
M12	1,75	DIN 376	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	3	TDC
M12	1,75	DIN 376	HSS	Sem	Canais Helicoidais	3	OSG
M12	1,75	DIN 376	HSS	Sem	Ponta Helicoidal	3	OSG

Fonte: TDC (2009) e OSG (2010)

Através da Figura 3-1 podem-se observar alguns dos machos utilizados nos ensaios, sendo distinguidos pela presença, e não, de revestimento superficial e pelo formato dos canais da ferramenta.

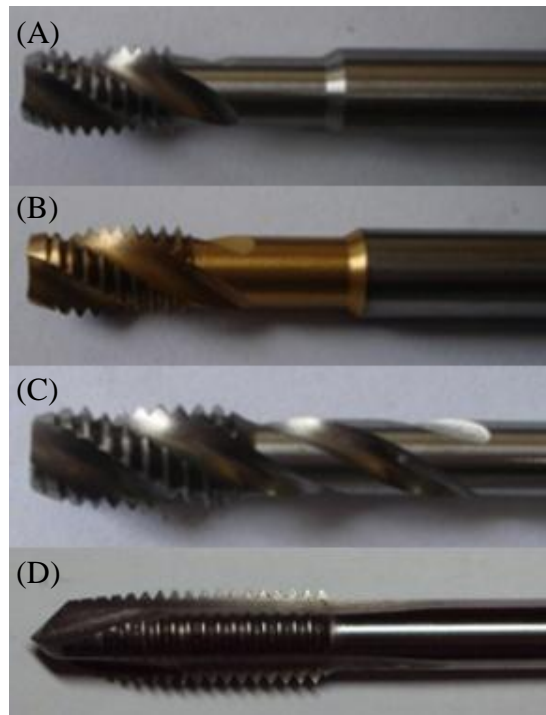


Figura 3-1 Alguns dos machos utilizados nos ensaios: A) M8 x 1,25 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; B) M8 x 1,25 de HSS-E e canais helicoidais com cobertura TiN da TDC; C) M8 x 1,25 de HSS e canais helicoidais da OSG; D) M8 x 1,25 de HSS e ponta helicoidal da OSG.

3.1.2 Brocas para furação dos corpos de prova

As usinagens dos furos, nos corpos de prova, foram realizadas com brocas de canais helicoidais de HSS no diâmetro indicado para cada tamanho de macho, cuja relação pode ser vista na Tabela 3-2. Esta relação de diâmetro de brocas foi retirada das tabelas dos fabricantes dos machos.

Tabela 3-2 Diâmetro dos furos para fazer rosca com machos

Macho	Diâmetro do furo (mm)
M6	5
M8	6.8
M10	8.5
M12	10.2

Fonte: TDC (2009)

3.1.3 Lubrificação

A lubrificação das ferramentas durante os ensaios de rosqueamento foi feita com óleo de corte solúvel Castrol Hysol X, sendo aplicada uma camada superficial do lubrificante, no estado puro, sobre a ferramenta e no interior do furo do corpo de prova, instantes antes de se iniciar o processo de rosqueamento. A aplicação foi realizada de forma manual, com o auxílio de uma almotolia.

3.1.4 Equipamento de coleta dos sinais de torque

Para a coleta dos sinais de torque, provenientes do processo de rosqueamento, foi necessário projetar e produzir um transdutor para a captação destes esforços, durante os ensaios. O modelo projetado teve como base a utilização de extensômetros de resistência elétrica, para captura das forças. Uma descrição mais detalhada sobre o projeto será feita mais adiante.

O equipamento eletrônico utilizado para obtenção dos valores de torque foi todo projetado e produzido dentro da Universidade. Para a alimentação e captação dos diferenciais de tensão dos extensômetros de resistência elétrica do transdutor, utilizou-se um condicionador de sinal, cujas características podem ser vistas na Tabela 3-3.

Tabela 3-3 Características do condicionador de sinal para extensômetros.

Fabricante	Lab. de Eng. Elétrica da UNISINOS
Modelo	CDC-0199-A
Tensão de excitação	5 V
Fator Gage	2
Tensão de alimentação	110/220 V

Uma placa de aquisição e transferência de dados teve que ser projetada e produzida para captar os sinais do condicionador de sinal e transferi-los ao microcomputador. Para tentar minimizar ruídos, provenientes de fenômenos desconhecidos que poderiam vir a ocorrer durante os ensaios, foi desenvolvido um “filtro de ruído” para ser adaptado ao circuito.

O microcomputador utilizado para armazenar os dados foi um Notebook Acer com processador Core 2 Duo de 2 Gigahertz de frequência, 2 Gigabyte de memória RAM e 250 Gigabyte de disco rígido. O software utilizado para receber e processar os dados foi adaptado

de um já existente, desenvolvido pelo aluno Alexandre Hoff do curso de Engenharia Elétrica da UNISINOS, em plataforma de programação LabView. O software recebe o sinal do transdutor piezoelétrico, instalado em um torno, e o converte em sinal de força. A Figura 3-2 mostra a interface do software utilizado nos ensaios.

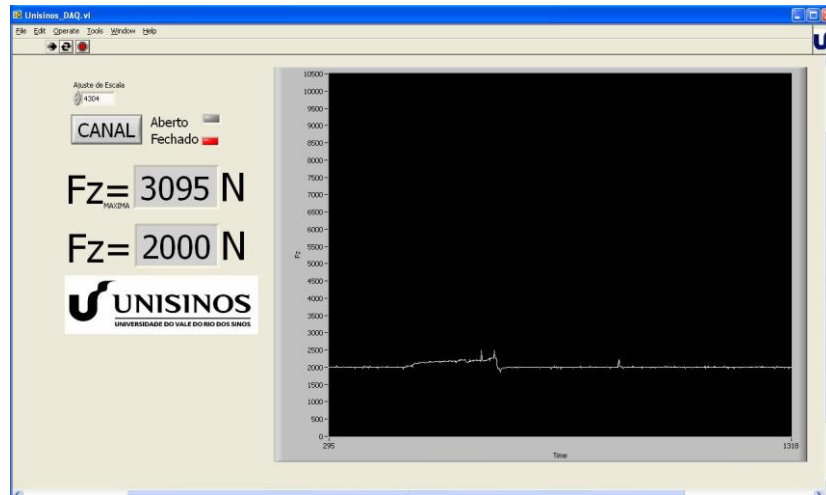


Figura 3-2 Interface do software de processamento de dados desenvolvido em Lab View.

Para a utilização do software nos ensaios, este teve que sofrer adaptações para poder receber e converter os sinais do transdutor, facilitando o manuseio do sistema e dos dados. Os dados adquiridos pelo programa eram convertidos em dados numéricos armazenados em planilhas eletrônicas, que serviram mais tarde para a criação dos gráficos de sinal de torque.

A Figura 3-3 mostra o esquema de montagem do circuito eletrônico para aquisição e processamento dos sinais de torque.

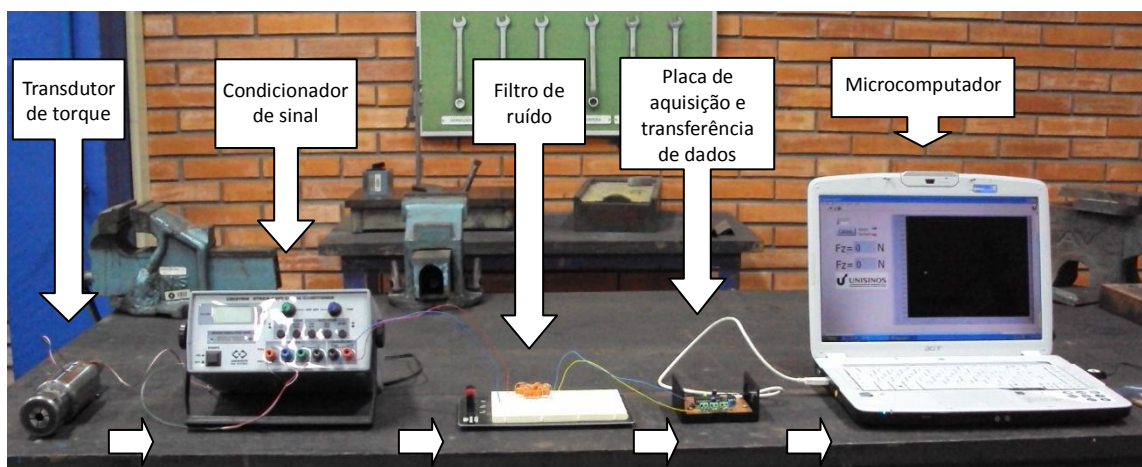


Figura 3-3 Esquema de instalação do equipamento para medir e armazenar os sinais de torque dos ensaios.

Todos os ensaios foram realizados em um torno convencional, modelo PRN-320-V da IMOR, cujas características são descritas na Tabela 3-4. Uma imagem do torno pode ser vista na Figura 3-4.

Tabela 3-4 Dados do torno utilizado nos ensaios

Fabricante	Imor
Modelo	PRV-320-V
Potência	1,1 kW
Comprimento de barramento	1270 mm
Tensão de alimentação	380V



Figura 3-4 Torno utilizado na realização dos ensaios.

3.1.5 Corpo de prova

Os corpos de prova utilizados para os ensaios foram barras cilíndricas de aço SAE 1020, com dimensões de 15,875 mm de diâmetro e 20 mm de comprimento. Suas principais características estão descritas na Tabela 3-5.

Tabela 3-5 Características físico-químicas do aço SAE 1020

Composição química média (%)				Características Estruturais	Dureza (HRB)
C	Mn	P	S	Ferrita e perlita	65
0,2	0,45	0,03	0,05	Tamanho do grão 8 (ASTM)	

A dureza do material foi verificada em um durômetro modelo GU-150 da Heckert, devidamente calibrado. Foram realizadas cinco leituras em pontos diferentes da superfície do material, obtendo um valor médio de 65 Rockwell – B.

A Figura 3-5 mostra a microestrutura de uma amostra do material utilizado para os ensaios. A análise foi feita em um microscópio modelo Versomet 2 da Union, na qual se pode observar a matriz ferrítica com alguns grãos de perlita.

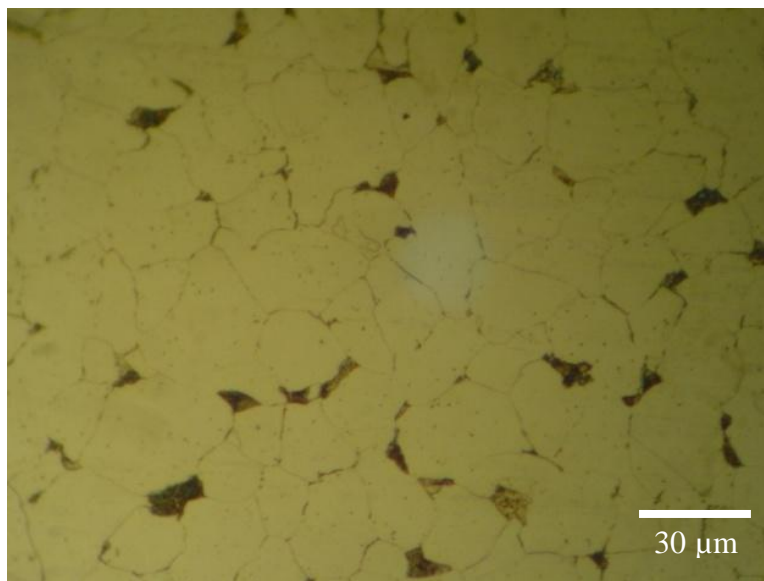


Figura 3-5 Microestrutura do aço carbono SAE 1020.

3.2 PROJETO DO TRANSDUTOR DE TORQUE

O projeto do transdutor de torque foi desenvolvido no software de CAD Solid Edge versão ST da Siemens, tendo como objetivo a captação das forças de torque com o auxílio de extensômetros de resistência elétrica, que fixados em um eixo, chamado aqui de eixo de torção, receberia os esforços torcionais provenientes do processo de rosqueamento. Os cálculos de dimensionamento do eixo de torção, bem como os esforços de torque que ele receberia podem ser visto no apêndice A e B do trabalho.

A Figura 3-6 mostra o projeto do transdutor, que é composto do corpo principal (item 1) onde, em seu interior, é acoplado o eixo de torção (item 6). Uma das extremidades deste eixo é fixada ao corpo principal e a outra em um sistema composto pelo eixo de ligação (item 2) e pelo suporte das pinças (item 7). O suporte das pinças serve para a fixação dos machos, e obedece as dimensões previstas pela norma DIN 6388. O eixo de ligação, por sua vez, tem a

função de interligar o eixo de torção ao suporte das pinças, sendo fixado ao corpo principal por um rolamento rígido de uma carreira de esferas, cujo código é o 6005 ZZ. O rolamento garante o movimento livre de giro dos eixos durante os ensaios, promovendo a livre torção do eixo de torção, e ao mesmo tempo protegendo-o de esforços axiais e de flexão. O rolamento é encaixado ao corpo principal e fixo pela porca de fixação (item 5), que é enroscada, também no corpo principal.

A fixação do eixo de torção foi projetada para que uma das extremidades ficasse com o movimento de giro impedido (engastado) e na outra com liberdade para poder receber os esforços de torque provenientes dos ensaios. Sua fixação no corpo principal permite um movimento axial de até 1 mm, com o objetivo de absorver eventuais dilatações do eixo decorrentes do aquecimento, impedindo assim, que o mesmo venha a flexionar devido a alteração de seu comprimento.

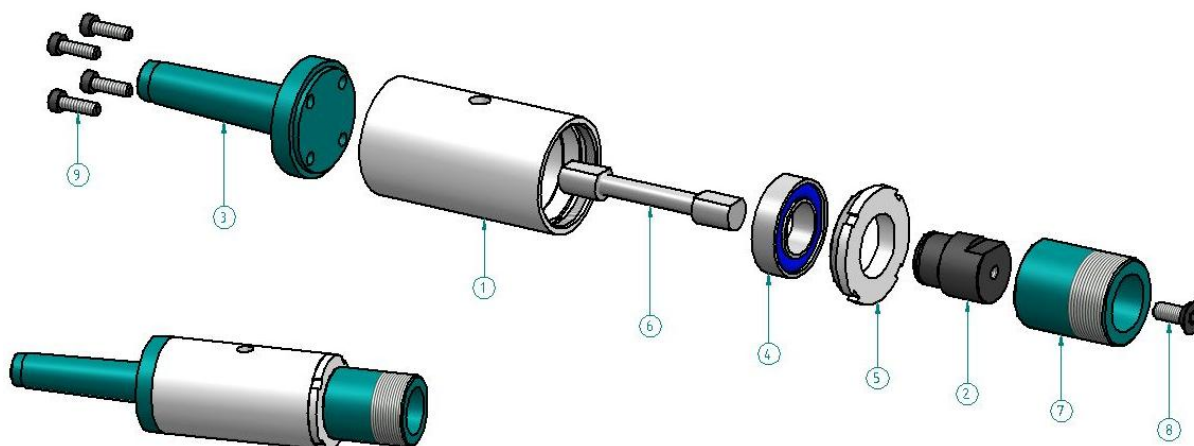


Figura 3-6 Componentes principais do transdutor de torque: 1) Corpo principal; 2) Eixo de ligação; 3) Cone morse; 4) Rolamento; 5) Porca de fixação; 6) Eixo de torção; 7) Suporte das pinças; 8) Parafuso Allen M8 x 15mm cabeça chata; 9) Parafuso Allen M6 x 20mm cabeça cilíndrica.

Na parte traseira do corpo principal é acoplado um cone Morse (item 3), produzido segundo as especificações DIN 228 Forma B, com o objetivo de fixar o equipamento no contra-ponto do torno.

Para a escolha dos materiais do transdutor foram levadas em consideração fatores como a resistência mecânica e a disponibilidade no estoque de materiais da Universidade. Os materiais utilizados na produção do equipamento estão descritos na Tabela 3-6. A usinagem das peças e a montagem do transdutor foram realizadas dentro dos laboratórios da UNISINOS, com as máquinas e ferramentas disponíveis.

Tabela 3-6 Nomenclatura das peças do transdutor e materiais utilizados na produção.

Nº das peças	Descrição	Qtde.	Material
01	Corpo Principal	01	SAE 1020
02	Eixo de Ligação	01	SAE 1020
03	Cone Morse	01	SAE 1020
05	Porca de aperto do rolamento	01	SAE 1020
06	Eixo de torção	01	SAE 1045
07	Suporte da pinça	01	SAE 1020

Na Figura 3-7 pode-se ver o transdutor de torque e seus componentes após a conclusão da usinagem e da montagem.



Figura 3-7 Transdutor de torque após sua conclusão: A) Componentes do transdutor; B) Transdutor montado.

3.2.1 Fixação dos extensômetros

Os extensômetros utilizados no transdutor foram do tipo “biaxial”, como mostra a Figura 3-8, que é especificamente desenvolvido para transdutores de torque (KYOWA, 2004; MECATRÔNICA, 2009). O modelo disponível no laboratório de metrologia da Universidade foi o KFC-2-D2-11 da fabricante Kyowa, cujas principais características podem ser vistas na Tabela 3-7.

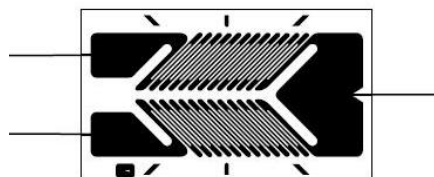


Figura 3-8 Extensômetro de resistência elétrica tipo “biaxial”.

Fonte: Figura adaptada de Kyowa (2004)

Para saber se os extensômetros suportariam as faixas de torque aplicadas ao sistema, foi necessário calcular o torque máximo que cada extensômetros suportaria e compará-lo ao torque que seria aplicado ao transdutor, pelo processo de rosqueamento com os machos de roscar. Estes cálculos são mostrados no apêndice C do trabalho, os quais demonstraram que os extensômetros podem ser utilizados para esta aplicação.

Tabela 3-7 Principais características do extensômetro tipo “biaxial”

Fabricante	Kyowa
Modelo	KFC-2-D2-11
Fator gage	2,05 ± 1%
Elemento resistivo	Liga CU NI
Temperatura de operação	-30°C a 80°C
Limite de deformação	5%
Resistência	120 Ω ± 0,4
Comprimento de deformação	2 mm
Base do extensômetro	Poliamida

Fonte: Kyowa (2004)

O passo seguinte foi a colagem dos extensômetros no eixo de torção do transdutor. O procedimento realizado primeiramente foi a retirada do eixo do transdutor para facilitar o processo de colagem. Iniciou-se o lixamento da superfície do eixo, para retirada de saliências e corpos estranhos. Foram utilizadas lixas de granometria 200 e 400, lixando-se de forma que a direção dos riscos de lixa fica-se com sentidos desordenados, facilitando a aderência da cola (BARRETO, 1998).

Após o lixamento, a superfície do eixo foi limpa com um pano embebido em álcool isopropílico para eliminar graxas e óleos prejudiciais à colagem. Para a colagem dos extensômetros, foi utilizada cola à base de cianoacrilato, com tempo de cura parcial de 2 minutos e total de 12 horas, com temperatura de trabalho entre -38°C e 70°C.

Com o auxílio de uma pinça, fixou-se uma das faces do extensômetro em uma fita adesiva para poder facilitar a aplicação de cola e a fixação no eixo. Aplicou-se uma fina camada de cola na superfície oposta a da fixada na fita adesiva, fixando posteriormente, o extensômetro no eixo de torção, de forma que ficasse paralelo a linha de centro imaginária do eixo, sendo essa posição, a mais adequada para este tipo de extensômetro (KYOWA, 2004). A função da fita adesiva, nesta fase do processo, foi a de manter o extensômetro fixo no eixo até a cura da cola.

O mesmo procedimento foi utilizado para a colagem do segundo extensômetro, que ficou em um ângulo de 180° graus em relação ao primeiro. Optou-se em colar dois

extensômetros por ser o mais indicado para a aplicação em torque, já que quaisquer efeitos devido aos esforços de flexão, axial, ou de variação da temperatura, são eliminados nesta configuração (BARRETO, 1998). Após a colagem dos extensômetros, procedeu-se com a colagem dos terminais de ligação, que teriam a função de ligação entre os extensômetros e os cabos elétricos.

Após a cura total da cola, foi realizada a ligação dos cabos dos extensômetros com os terminais e destes com os cabos elétricos. O procedimento foi realizado utilizando-se um aparelho de solda elétrico e uma liga para solda, contendo estanho e chumbo. A Figura 3-9 mostra o resultado final da colagem e das ligações dos cabos.



Figura 3-9 Eixo de torção com os extensômetros, terminais e cabos fixados

A ligação dos cabos foi feita de modo a formar uma ponte de Wheatstone com o condicionador de sinal, cujo esquema pode ser visto na Figura 3-10.

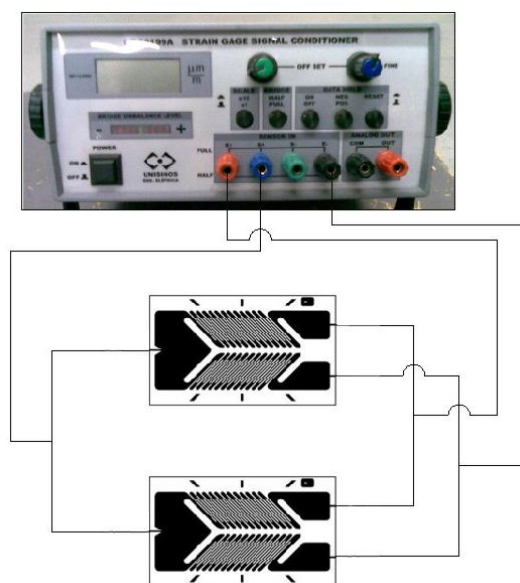


Figura 3-10 Esquema de ligação dos extensômetros com o condicionador de sinais.

Após a soldagem dos cabos elétricos, o eixo de torção foi novamente montado no transdutor, e o mesmo, pôde passar pelo processo de calibração.

3.2.2 Calibração do transdutor de torque

Para a calibração do transdutor de torque foi necessário produzir sobre o mesmo um torque, de valor conhecido para poder verificar o valor correspondente, tanto no condicionador de sinal, como no software de processamento dos dados. Com estes valores, se montaria o gráfico para verificar se os mesmos teriam comportamento linear e se faria a relação entre os torques produzidos e os sinais captados. A Figura 3-11 mostra o sistema utilizado para a calibração do transdutor, que consiste em uma barra de aço de comprimento determinado, onde uma das suas extremidades é fixada ao transdutor de torque e a outra em uma bandeja, para a colocação de massas padrões de valores conhecidos, produzindo assim, os torques.

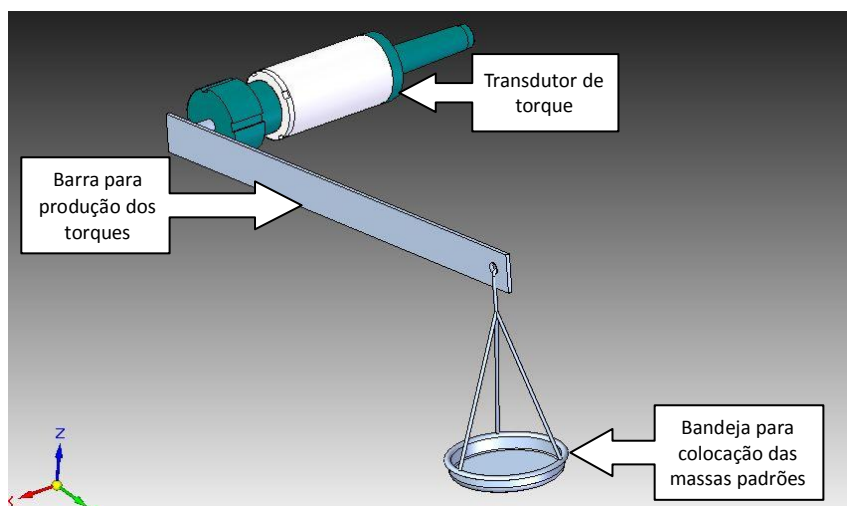


Figura 3-11 Mecanismo para promover os torques de valores conhecidos no transdutor (sistema de calibração).

Para a confecção do sistema usou-se uma barra de aço de espessura 3,5 mm, largura 32 mm e comprimento de 430 mm. Em uma de suas extremidades foi soldado um eixo de diâmetro 10 mm para ser fixo no porta pinça do transdutor. Na outra extremidade da barra foi feito um furo, a uma distância de 400 mm do eixo, com a finalidade de fixar uma bandeja para colocação das massas padrões, os quais produziram os torques pré-determinados.

As massas padrões utilizadas para produzir os torques foram verificados em uma balança de precisão modelo MB 16 da Marte, com capacidade para 16,2 kg, resolução de 0,1 grama e certificado de calibração emitido pela Vizatec, com o número 9049-2009. As massas padrões formaram sozinhas e em conjunto as seguintes relações de massas, as quais foram colocadas uma a uma na bandeja: 50g, 100g, 200g, 500g, 1000g, 2000g, 3000g, 4500g e 4900g. Sendo que a massa de 4900g produziria o torque de 20 N.m, valor este, superior ao torque máximo promovido pelo maior macho do ensaio (M12). A Figura 3-12 mostra uma das verificações das massas feita na balança.



Figura 3-12 Verificação das massas padrões na balança de precisão

Para a verificação das massas padrões, procedeu-se com três tomadas de medidas para cada valor, considerando para cálculo a média entre elas. Foi pesada também a bandeja que acondicionaria as massas e a barra utilizada para produção dos torques, chamada aqui de barra de torção. A Tabela 3-8 mostra os valores obtidos nas pesagens e as médias das três tomadas.

Tabela 3-8 Valores das massas padrões verificadas na balança com suas respectivas médias.

Massa (Valor nominal) em gramas (g)	Verificação 01 Massa (g)	Verificação 02 Massa (g)	Verificação 03 Massa (g)	Média das verificações (g)
50	49,9	49,9	50,0	49,9
100	100,0	100,0	100,2	100,1
200	200	200	200	200
500	500	500	500	500
1000	999,9	1000,1	1000,1	1000
2000	2000,1	2000,3	2000,1	2000,2
Bandeja	32,6	32,6	32,6	32,6
Barra de torção	373,6	373,7	373,7	373,7

Com a verificação das massas padrões concluída, o próximo passo foi montar o sistema para produzir os torques no transdutor. Em uma bancada, fixou-se o transdutor em uma morsa e fez-se o seu nivelamento para evitar que qualquer inclinação modificasse os valores de torque. Para nivelar o equipamento foi utilizado um nível da Stiefelmayer com resolução de 0,02mm/m.

Após o nivelamento do transdutor, ligou-se o cabo dos extensômetros no condicionador de sinal, ligou-se o aparelho e fez-se o balanceamento do circuito através de botões reguladores do próprio condicionador, com indicação através de mostrador digital do aparelho. Com o circuito ligado, fixou-se a barra de torção no transdutor e fez-se novamente o nivelamento do transdutor juntamente com da barra. A Figura 3-13 mostra algumas das etapas do procedimento.

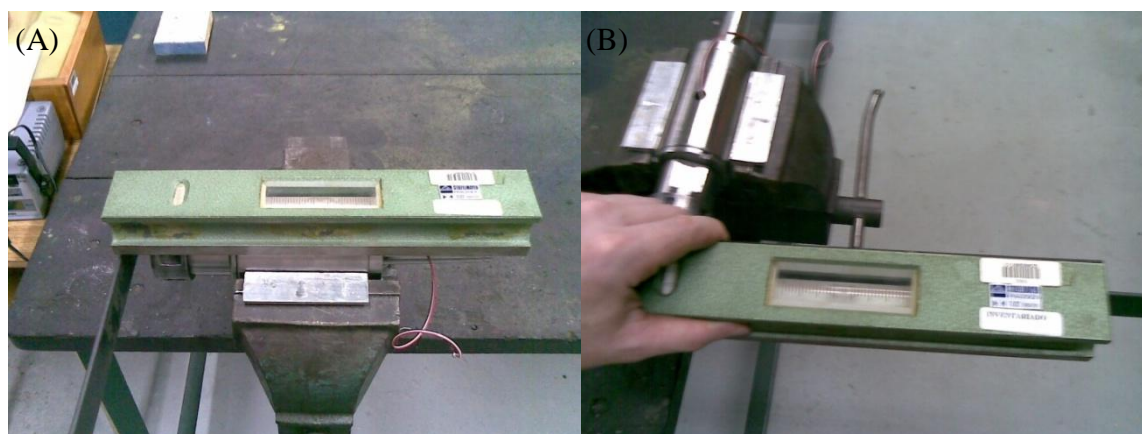


Figura 3-13 Alinhamento com nível de precisão para calibração do transdutor: A) Alinhamento do transdutor; B) Alinhamento da barra de torção

Com a fixação da barra de torção no transdutor, o condicionador de sinal já acusou diferença em seu mostrador, sendo este valor anotado, para posterior análise. Em seguida fixou-se a bandeja na extremidade da barra de torção e novamente anotou-se o valor obtido no mostrador do aparelho. Com o dispositivo preparado, colocou-se as massas padrões, um de cada vez, por três vezes consecutivas, na seguinte sequência: 50g, 100g, 200g, 500g, 1000g, 2000g, 3000g, 4500g e 4900g. Anotando todos os valores correspondentes a cada massa, mostrados no condicionador de sinal. A Figura 3-14 mostra uma das etapas da realização do procedimento.



Figura 3-14 Procedimento para a produção dos torques

Os valores médios das massas colocadas na bandeja juntamente com os valores apresentados no condicionador de sinal podem ser verificados na Tabela 3-9.

Tabela 3-9 Valores obtidos no condicionador de sinal correspondente cada massa colocado na bandeja.

Massa (Valor médio) em gramas (g)	Verificação 01 $\mu\text{m/m}$	Verificação 02 $\mu\text{m/m}$	Verificação 03 $\mu\text{m/m}$
49,9	6	7	7
100,1	8	8	8
200	11	12	12
500	19	19	19
1000	32	32	33
2000,2	58	58	58
3000,2	84	84	84
4500,2	118	118	119
4900,4	127	127	127

Através dos dados obtidos, criou-se o gráfico para verificar a relação entre os valores mostrados no condicionador de sinal com as massas colocadas na bandeja, através do coeficiente de determinação (R^2), gerado pelo software *Excel*[®], onde se criaram os gráficos. Para aprovação do transdutor, era necessário que os valores ficassem o mais próximo da reta gerada pelo gráfico, com valor de R^2 igual ou próximo a 1, demonstrando que o transdutor trabalha de forma linear, isto é, dentro do regime elástico do material do eixo de torção e do extensômetro.

O resultado pode ser visto no gráfico da Figura 3-15, no qual se verifica que a deformação do eixo de torção, juntamente com o extensômetro, obedece a um comportamento

próximo ao linear, pois os valores ficaram bastante próximos a reta, obtendo um coeficiente de determinação de 0,999.

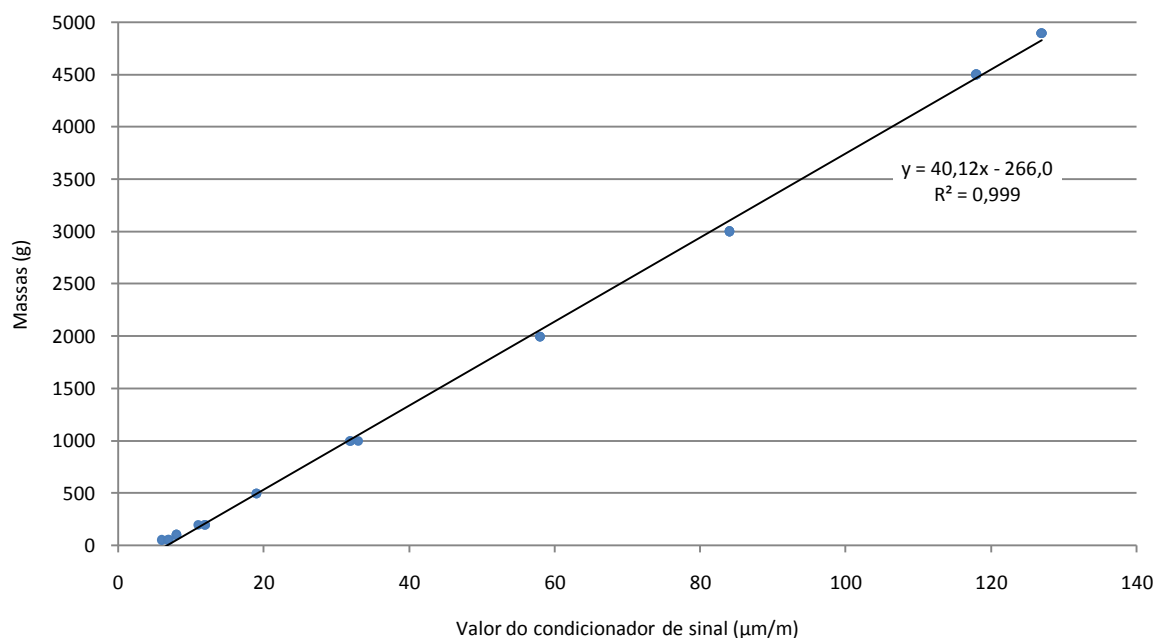


Figura 3-15 Gráfico de dispersão dos valores do condicionador de sinal em relação as massas colocadas na bandeja.

O mesmo procedimento foi realizado para verificar a linearidade dos valores obtidos pelo software de processamento dos dados. Com o sistema de aquisição de dados montado, iniciou-se as verificações procedendo-se com o acionamento do software e logo em seguida a colocação das massas padrões na bandeja, na mesma sequência que a anterior: 50g, 100g, 200g, 500g, 1000g, 2000g, 3000g, 4500g e 4900g. Cada massa colocada na bandeja gerava valores adimensionais determinados no software, sendo estes posteriormente transformados em gráficos, de onde se obtiveram os valores médios mostrados na Tabela 3-10.

As verificações um, dois e três, mostradas na Tabela 3-10, foram realizadas em bancada e a quarta foi feita com o transdutor montado no torno, que permaneceu ligado durante as verificações. Isto se fez, para averiguar a influência de possíveis ruídos no circuito, provocados pela ação da máquina em movimento durante os ensaios. Isso não se observou, pois os dados da verificação quatro ficaram próximos as outras, como mostram os dados da tabela.

Tabela 3-10 Valores obtidos da média dos gráficos gerados pelo software

Massas (Valor médio) em gramas (g)	Soma das massas padrões com a massa da bandeja (g)	Verificação 01 (Adimensional)	Verificação 02 (Adimensional)	Verificação 03 (Adimensional)	Verificação 04 (Adimensional)
49,9	82,5	1983149798,42	1983287037,84	1987717102,56	1988752748,45
100,1	132,7	1993781646,54	1995576364,05	1993088469,55	1995214453,00
200	232,6	2000851366,66	2005611586,59	2002230147,66	2002418242,18
500	532,6	2036525287,26	2035141234,46	2035750839,79	2042320183,70
1000	1032,6	2083940602,64	2084369497,28	2084143155,87	2081478353,19
2000,2	2032,8	2189203002,94	2187625747,35	2187836344,26	2190939620,63
3000,2	3032,6	2295977258,50	2293434497,79	2294484991,77	2293921016,80
4500,2	4532,6	2452673732,35	2451433109,26	2448322167,13	2451086858,33
4900,4	4932,6	2490044419,57	2486812187,86	2485289179,06	2487941483,95

Através destes valores, criou-se o gráfico da Figura 3-16, que mostra a dispersão dos resultados obtidos pelo software em relação as massas colocadas na bandeja. Os valores demonstraram um afastamento mínimo em relação a reta gerada e o coeficiente de determinação ficou de 0,999, o que comprovou novamente a linearidade dos dados obtidos pelo equipamento.

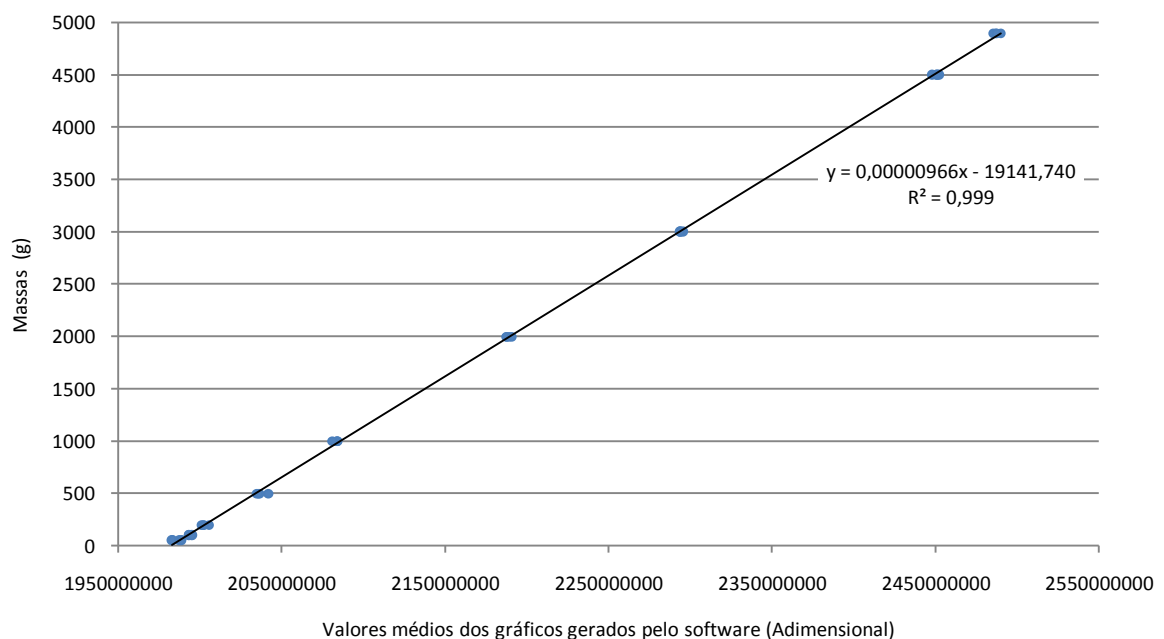


Figura 3-16 Gráfico dos valores médios dos gráficos gerados pelo software em relação as massas colocadas na bandeja do sistema de calibração.

Sabendo-se os torques gerados pelas massas (mais a bandeja) e pela barra de torção, fez-se a conversão dos valores adimensionais captados pelo software em valores de torque. As

equações e os cálculos dos torques podem ser visto no apêndice D do trabalho e os resultados na Tabela 3-11.

Tabela 3-11 Tabela com valores dos torques e dos valores mostrados no software

Massas (Valor médio) em gramas (g)	Soma das massas padrões com a massa da bandeja (g)	Torque promovido pelas massas + bandeja (N.m)	Torque promovido pela barra de torção (N.m)	Torque total (N.m)
49,9	82,5	0,32	0,7	1,02
100,1	132,7	0,52	0,7	1,22
200	232,6	0,91	0,7	1,61
500	532,6	2,09	0,7	2,79
1000	1032,6	4,05	0,7	4,75
2000,2	2032,8	7,98	0,7	8,68
3000,2	3032,8	11,90	0,7	12,6
4500,2	4532,8	17,79	0,7	18,49
4900,4	4933	19,36	0,7	20,06

Com os valores de torque calculados, criou-se o gráfico da relação dos valores processados pelo software com os torques promovidos pelo sistema de calibração, que podem ser vistos na Figura 3-17

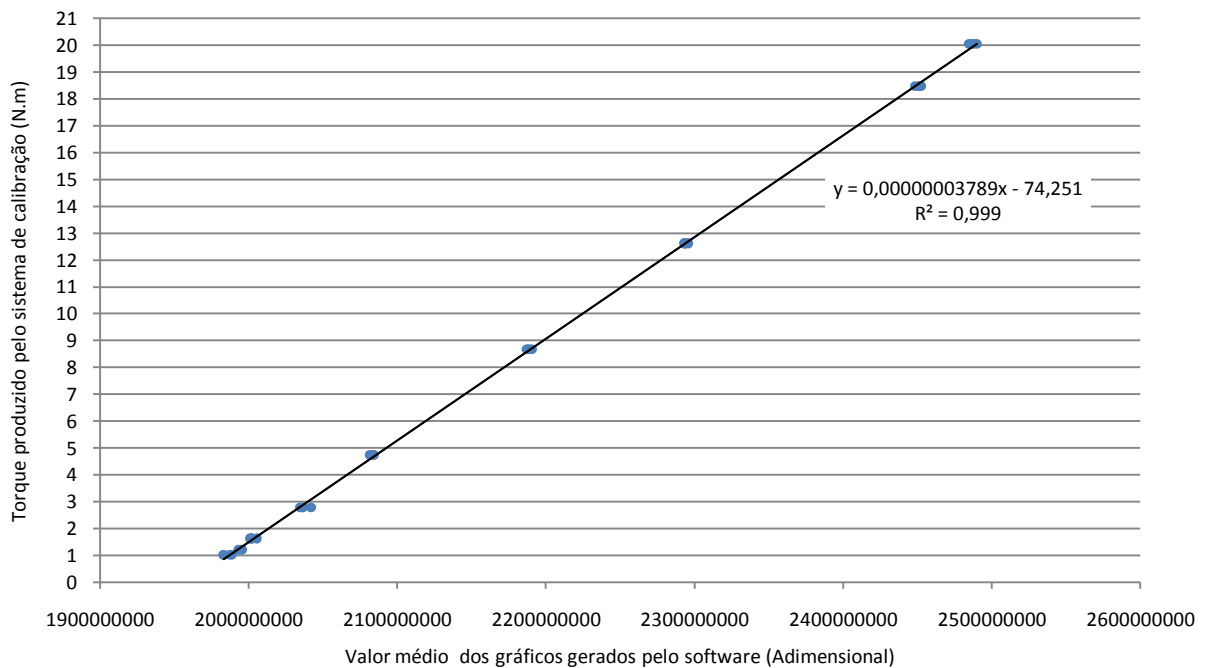


Figura 3-17 Gráfico dos valores do software versus torque produzido pelo sistema de calibração

Através da equação 3-1, gerada pelo gráfico da Figura 3-17, fez-se a conversão dos sinais gerados pelo software em torque.

$$y = 3,789 \cdot 10^{-8}x - 74,251 \quad (3-1)$$

Onde “y” é o torque em N.m e “x” é o valor gerado pelo software, quando há esforços de torque atuando no sistema. Com o sistema de aquisição de dados calibrado, iniciaram-se os preparativos para os ensaios de rosqueamento com os machos.

3.3 PROCEDIMENTOS PARA OS ENSAIOS

Nesta etapa do trabalho, serão descritos os procedimentos realizados nos ensaios de rosqueamento com os machos de roscar. Serão mostradas as etapas dos ensaios, bem como as peculiaridades de cada um.

Os ensaios foram realizados com a sequência de ferramentas mostrada na Tabela 3-12, onde se pode verificar também, a rotação, velocidade de corte e tipo de lubrificação utilizado.

Tabela 3-12 Sequência de ensaios dos machos de roscar

Sequência dos ensaios	Tamanho do macho	Passo (mm)	Material	Cobertura	Tipo	Fabricante	Rotação (RPM)	Velocidade de corte m/min.	Lubrificação
1°	M8	1,25	HSS	Sem	Canais Helicoidais	OSG	280	7	Camada de óleo solúvel puro
2°	M10	1,5	HSS	Sem	Canais Helicoidais	OSG	280	8,8	Camada de óleo solúvel puro
3°	M12	1,75	HSS	Sem	Canais Helicoidais	OSG	280	10,6	Camada de óleo solúvel puro
4°	M6	1	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	TDC	280	5,3	Camada de óleo solúvel puro
5°	M8	1,25	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	TDC	280	7	Camada de óleo solúvel puro
6°	M10	1,5	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	TDC	280	8,8	Camada de óleo solúvel puro
7°	M12	1,75	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	TDC	280	10,6	Camada de óleo solúvel puro
8°	M8	1,25	HSS-E	Sem	Ponta Helicoidal	OSG	280	7	Camada de óleo solúvel puro
9°	M10	1,5	HSS	Sem	Ponta Helicoidal	OSG	280	8,8	Camada de óleo solúvel puro
10°	M12	1,75	HSS	Sem	Ponta Helicoidal	OSG	280	10,6	Camada de óleo solúvel puro
11°	M8	1,25	HSS-E	Sem	Canais Helicoidais	TDC	280	7	Sem Lubrificação
12°	M8	1,25	HSS-E	TiN	Canais Helicoidais	TDC	280	7	Sem Lubrificação

Cada ensaio mostrado na tabela foi realizado três vezes, totalizando trinta e seis. A sequência de passos para a realização de cada ensaio dos foram:

- 1) Fixação do corpo de prova na placa do torno;
- 2) Usinagem da face do corpo de prova;
- 3) Fixação do mandril no contraponto do torno e da broca no mandril;
- 4) Usinagem do furo com a broca correspondente a rosca do macho;
- 5) Retirada do mandril do contraponto;
- 6) Fixação do transdutor de torque no contra ponto (já com o macho fixado no equipamento);
- 7) Aplicação do óleo solúvel puro no macho e no furo do corpo de prova;
- 8) Ativação do software de captura dos dados;
- 9) Usinagem da rosca no corpo de prova.
- 10) Desativamento do software;
- 11) Salvamento dos dados registrados no software;
- 12) Retirada do corpo de prova;
- 13) Repetição dos passos 1 ao 13.

A furação, para posterior usinagem da rosca, era realizada com broca, de diâmetro correspondente ao tamanho de cada macho, conforme Tabela 3-2, sendo realizada em todo o comprimento do corpo de prova (furo passante). A usinagem da rosca, com o macho, era feita até a ferramenta atingir uma profundidade aproximada de 18 mm, quando revertia-se o processo e retornava a ferramenta. A Figura 3-18 ilustra o processo de rosqueamento nos corpos de prova.

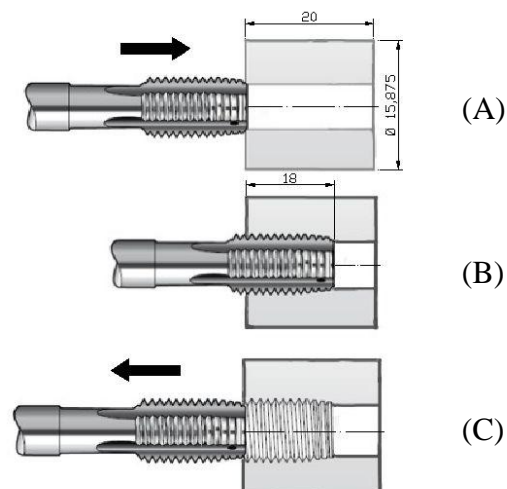


Figura 3-18 Sequência do processo de rosqueamento: A) Avanço da ferramenta; B) Finalização da usinagem e reversão do processo; C) Retorno da ferramenta.

A troca de macho no transdutor de torque, durante os ensaios, era feito com o dispositivo fixo no contra ponto do torno e após de completada a sexta operação.

A Figura 3-19 mostra a máquina e os equipamentos montados para a realização dos ensaios.



Figura 3-19 Máquina e equipamentos montados para a realização dos ensaios

A rotação utilizada para os ensaios foi de 280 rotações por minuto, isso implicou em diferentes velocidades de corte para cada tamanho de macho, como mostra a Tabela 3-12. Esta rotação foi utilizada para proporcionar velocidades de corte das ferramentas, próxima a faixa recomenda em tabela para aço-carbono (STEMMER, 1995). No presente estudo, a variação de velocidade de corte foi desconsiderada, pois sua influência é pequena no esforço de torque de rosqueamento (FERRARESI, 1970). Foram realizados 36 ensaios, onde cada um gerou um gráfico correspondente, os quais podem ser vistos no apêndice E do trabalho.

Após a conclusão dos ensaios, com o transdutor ainda montado no contra ponto do torno, montou-se novamente a barra de torção e a bandeja no dispositivo. Nivelou-se a barra e o transdutor e fez-se a verificação dos valores captados pelo software, adicionando novamente, na bandeja, as massas padrões utilizados na calibração. Esse procedimento foi realizado para verificar se os valores captados pelo software após os ensaios coincidiriam com os valores obtidos antes, verificando assim a existência de qualquer problema que possa ter acontecido com o transdutor durante os procedimentos. Os valores captados podem ser vistos

na Tabela 3-13 e mostram valores similares aos valores da calibração, descartando a hipótese de problemas com o equipamento durante os ensaios.

Tabela 3-13 Valores obtidos da média dos gráficos gerados pelo software na verificação, após os ensaios.

Massas (Valor médio) em gramas (g)	Verificação (Adimensional)
49,9	1986861502,92
100,1	1978773124,59
200	2002151274,38
500	2036319457,78
1000	2082629746,35
2000,2	2186934497,73
3000,2	2293437109,27
4500	2450812187,82
4900,4	2488149834,45

CAPÍTULO IV

4 RESULTADOS E DISCUSSÕES

Neste capítulo serão apresentados os resultados dos ensaios de rosqueamento descritos anteriormente. Para isso, foram abordados os seguintes itens: análise do torque decorrente do processo de rosqueamento dos machos dos fabricantes OSG e TDC; análise entre os diferentes tamanhos de machos; análise entre usinagem com e sem lubrificação; análise entre ferramentas sem revestimentos e revestidas com nitreto de titânio (TiN) na usinagem sem lubrificação.

O gráfico da Figura 4-1, obtido de um dos ensaios realizados com o macho M12 de HSS e canais helicoidais da OSG, mostra o sinal de torque, captado pelo sistema de aquisição de dados, durante o processo de rosqueamento. Através dele podem-se distinguir as fases principais do processo de rosqueamento: Imersão (“A”), estado estável de corte (“B”) e retorno (“C”).

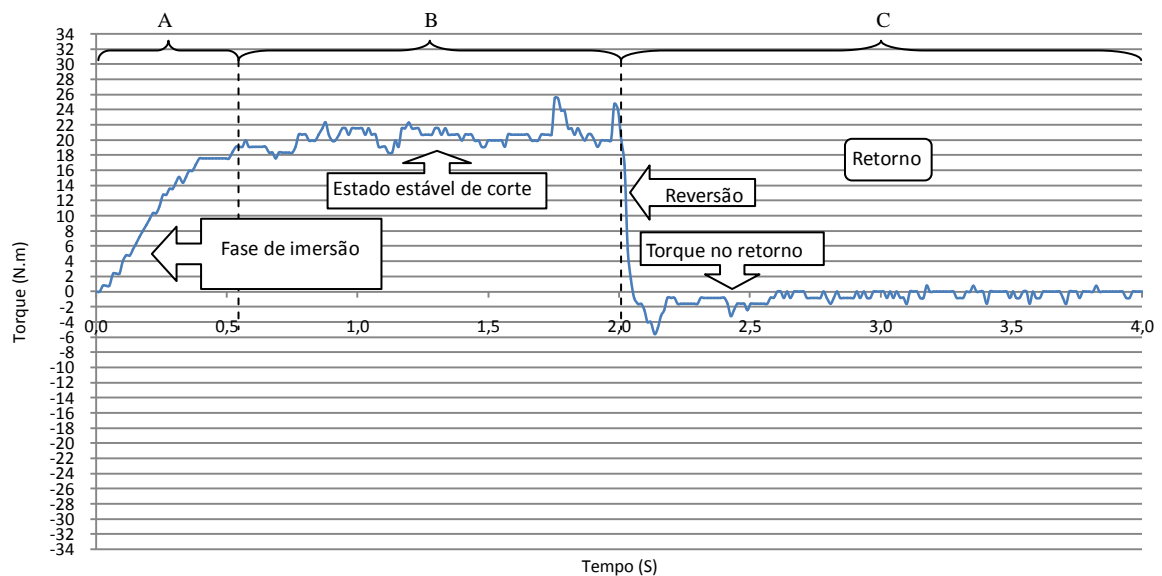


Figura 4-1 Fases principais do sinal de torque produzido no ensaio dois do macho M12 de HSS e canais helicoidais da OSG

Na fase de imersão do macho (“A”), nota-se o aumento progressivo do torque devido ao ângulo de entrada na ponta do macho. O sinal de torque inicia no momento em que a ponta

do macho toca no furo da peça e tem seu valor máximo quando todos os filetes da parte cônica penetram no corpo de prova.

Na fase estável de corte (“B”), o comportamento do torque permanece dentro de uma faixa quase que constante, pois todas as arestas de corte da parte cônica do macho já estão em contato com a peça e atuando no corte, estabilizando os esforços de torque da ferramenta.

A fase de retorno (“C”) é iniciada com a reversão do processo de rosqueamento, caracterizado pela inversão do sentido de giro da placa do torno. Observa-se uma queda quase que instantânea do sinal de torque, chegando posteriormente a valores negativos.

Voltando a fase de imersão da ferramenta, pode-se perceber a contribuição do ângulo de entrada do macho para um aumento suave e progressivo do torque, já que as arestas de corte da ferramenta iniciam o corte praticamente em zero, penetrando progressivamente no furo até o término do chanfro. Isso evita esforços excessivos e repentinos no início do corte da ferramenta, aumentando sua vida útil e reduzindo o risco de quebras ou lascamentos.

Na segunda fase do processo, denominada estável, é possível verificar uma descontinuidade no sinal de torque. A Figura 4-2 mostra os sinais de torque dos três ensaios realizados com o macho M10 de HSS e canais helicoidais da OSG, onde se observa a oscilação do sinal de torque nessa fase do processo.

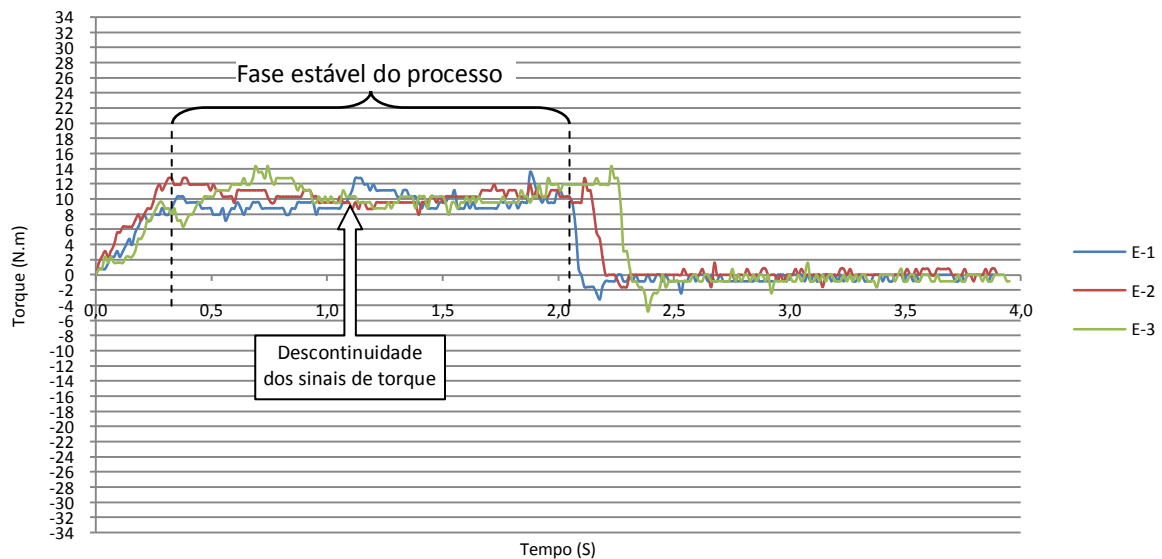


Figura 4-2 Sinais de torque dos três ensaios realizados com machos M10 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo: E-1) Ensaio um; E-2) Ensaio dois; E-3) Ensaio três.

Essa instabilidade no processo é encontrada também em estudos realizados como o de Da Mota (2006) usinando ferro fundido, Puzović (2006), usinando aço SAE 1060, e Cao e Sutherland (2002), usinando aço SAE 1018.

Cao e Sutherland (2002), em seus estudos, realizaram seis ensaios com um macho M10 de HSS e canais retos, na condição sem lubrificação, e perceberam que em cada ensaio houve variação no sinal de torque. Eles perceberam também em seus experimentos que a utilização de fluido de corte não contribuiu para minimizar essa variação.

Segundo Cao e Sutherland (2002), essa inconstância nos sinais de torque é provocada por fatores relacionados ao processo de formação do cavaco e seu comportamento após ter sido gerado. Segundo eles, devido à geometria dos machos de roscar, constantemente cavacos ficam enclausurados nos canais da ferramenta, provocando uma oscilação na magnitude dos sinais de torque e de força. A Figura 4-3 mostra os seis ensaios realizados pelos pesquisadores.

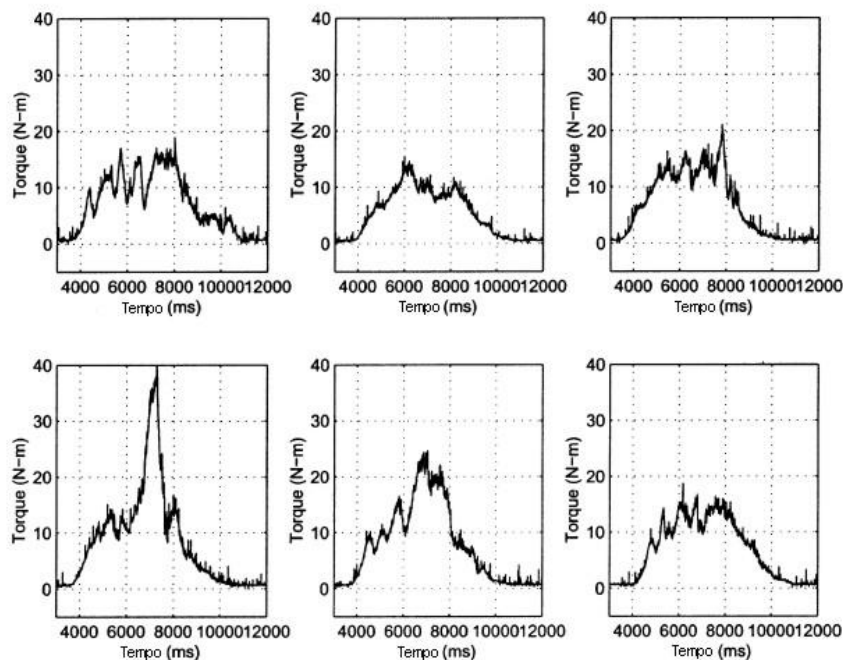


Figura 4-3 Repetibilidade da medição do torque com machos de roscar M10 X 1,5 mm; 9,5mm de profundidade de corte; condição a seco; 175 rpm.

Fonte: Figura adaptada de Cao e Sutherland (2002)

Analisando a fase de retorno da ferramenta, que tem início com a reversão do processo, observa-se uma queda quase instantânea do sinal, até atingir valores negativos de torque. Estes valores negativos ocorrem devido ao atrito, gerado pelo contato da ferramenta com a peça e com os cavacos presos nos canais. Nos ensaios observaram-se picos negativos nos sinais de torque após a reversão. Essa ocorrência foi devido a quebra do cavaco pela face

oposta das nervuras do macho, logo após a reversão, como mostra o ensaio realizado com o macho M10 de HSS e canais helicoidais da OSG, apresentado na Figura 4-4. Outras ocorrências deste fenômeno podem ser vistos nos ensaios mostrados no apêndice E do trabalho.

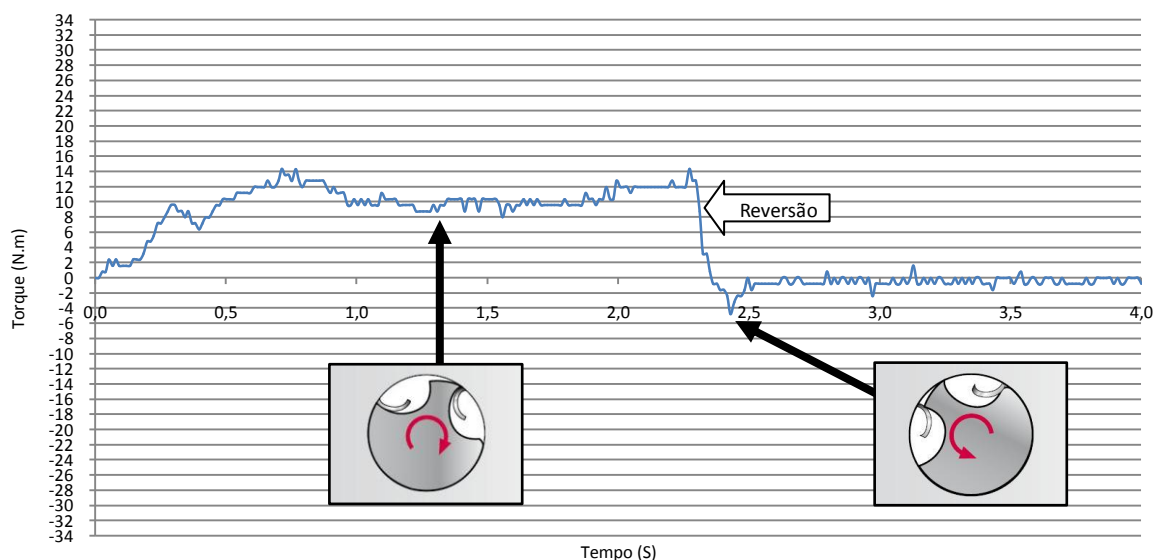


Figura 4-4 Processo de corte no avanço e quebra do cavaco na reversão do processo de rosqueamento: Ensaio três do macho M10 de HSS e canais helicoidais da OSG.

O retorno do macho durante o processo de rosqueamento geralmente apresenta baixos esforços de torque, mas os ensaios realizados com os machos M10 da TDC mostraram que nem sempre isso ocorre.

No gráfico da Figura 4-5 podem-se observar valores elevados de torque no processo de retorno da ferramenta, durante os ensaios. Como foi o único caso registrado de torque elevado na reversão, sugere-se que a causa do problema esteja ligado ao acúmulo de cavacos nos canais da ferramenta. Este acúmulo pode ser decorrente da lubrificação ineficaz nos ensaios e da posição horizontal do macho durante o processo, dificultando a saída dos cavacos dos canais da ferramenta.

O acúmulo de cavacos, nos canais do macho, provoca aumento do torque, devido ao aumento do atrito entre a ferramenta, peça e o próprio cavaco. Isso é evidenciado, neste caso, pelo torque elevado durante o avanço, se comparado aos ensaios realizados com o macho M10 da OSG. No retorno a situação se agrava, pois há o acúmulo de cavacos gerados durante todo o processo de avanço da ferramenta, podendo aumentar de forma drástica os esforços do processo.

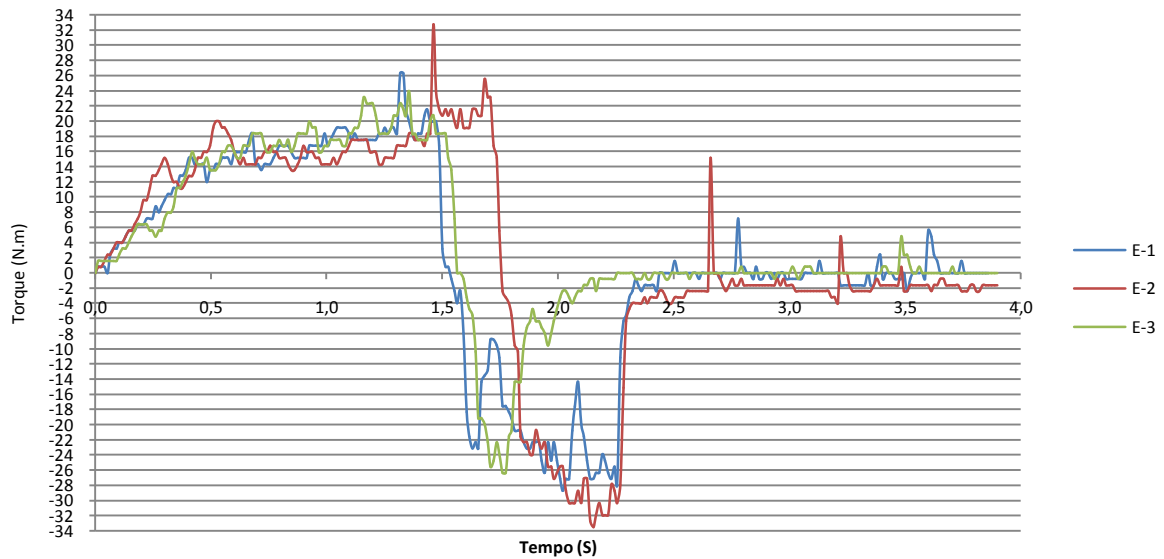


Figura 4-5 Sinais de torque obtidos dos três ensaios realizados com o macho M10 de HSS-E e canais helicoidais da TDC: E-1) Ensaio um; E-2) Ensaio dois; E-3) Ensaio três.

Com a finalidade de analisar os valores de torque dos machos M8, M10 e M12 da OSG, criou-se o gráfico mostrado na Figura 4-6, onde é mostrado um dos três ensaios realizados com cada macho.

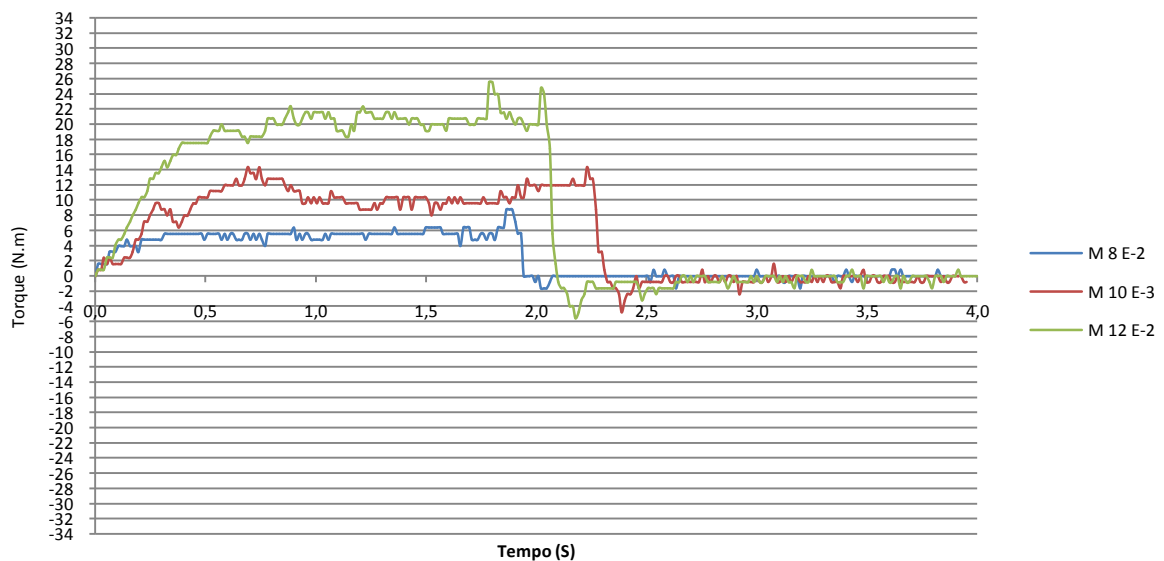


Figura 4-6 Sinais de torque dos machos de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo: M8 E-2) Ensaio dois do M8; M10 E-3) Ensaio três do M10; M12 E-2) Ensaio dois do M12.

O gráfico mostra o ensaio dois (E-2) do macho M8, ensaio três (E-3) do M10 e o ensaio dois (E-2) do M12 onde se observa o aumento do torque decorrente do aumento do tamanho da ferramenta. Para a escolha do ensaio (dentre os três realizados) utilizado na montagem dos gráficos, utilizou-se como parâmetro o maior valor médio de torque na fase

estável do processo de rosqueamento (fase “B” da Figura 4-1), pois é nesta fase que os sinais de torque atingem seus valores máximos.

Pode-se observar também, através do gráfico da Figura 4-6, uma defasagem entre os pontos de reversão do processo, de cada sinal. Isso ocorreu devido ao processo de reversão na máquina ser feita de forma manual, ocasionado variação no instante de reversão de cada ensaio.

Fazendo uso de todos os ensaios realizados com os machos de HSS e canais helicoidais da OSG, criou-se o gráfico da média dos torques, no estado estável do processo (fase “B” da Figura 4-1), dos três ensaios realizados com cada tamanho de ferramenta, o qual pode ser visto na Figura 4-7. Com ele, pôde-se estabelecer o torque médio que cada tamanho de macho necessitou para realizar a operação de rosqueamento.

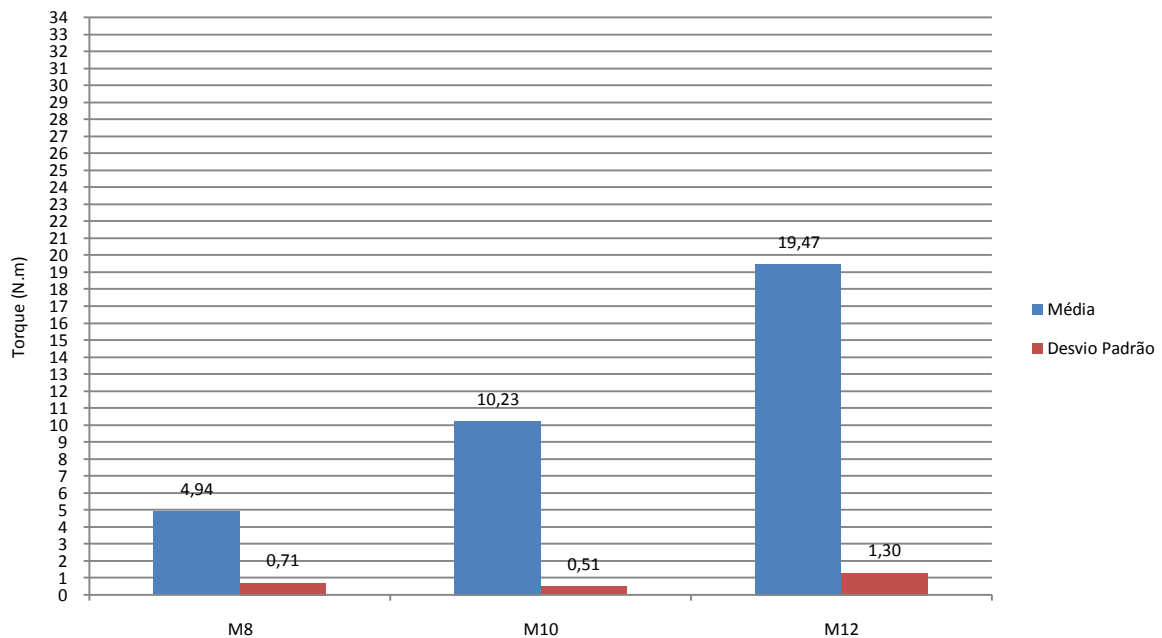


Figura 4-7 Média e desvio padrão dos torques promovidos pelos machos M8, M10 e M12 de HSS e canais helicoidais da OSG, na fase estável do processo.

Fazendo a análise dos machos com geometria de canais retos com ponta helicoidal e os de canais helicoidais, pôde-se estabelecer uma relação entre o torque e a geometria da ferramenta. Observando os valores de torque do ensaio dois (E-2) do macho M8 de canais helicoidais (C.H.) e o ensaio três (E-3) do macho M8 de ponta helicoidal (P.H.), ambos da OSG, apresentados no gráfico da Figura 4-8, nota-se o valor superior de torque do macho de ponta helicoidal em relação ao macho de canais helicoidais. Lembra-se que os ensaios de cada tamanho de macho foram escolhidos levando-se em consideração a maior média na fase estável do processo (fase “B” da Figura 4-1).

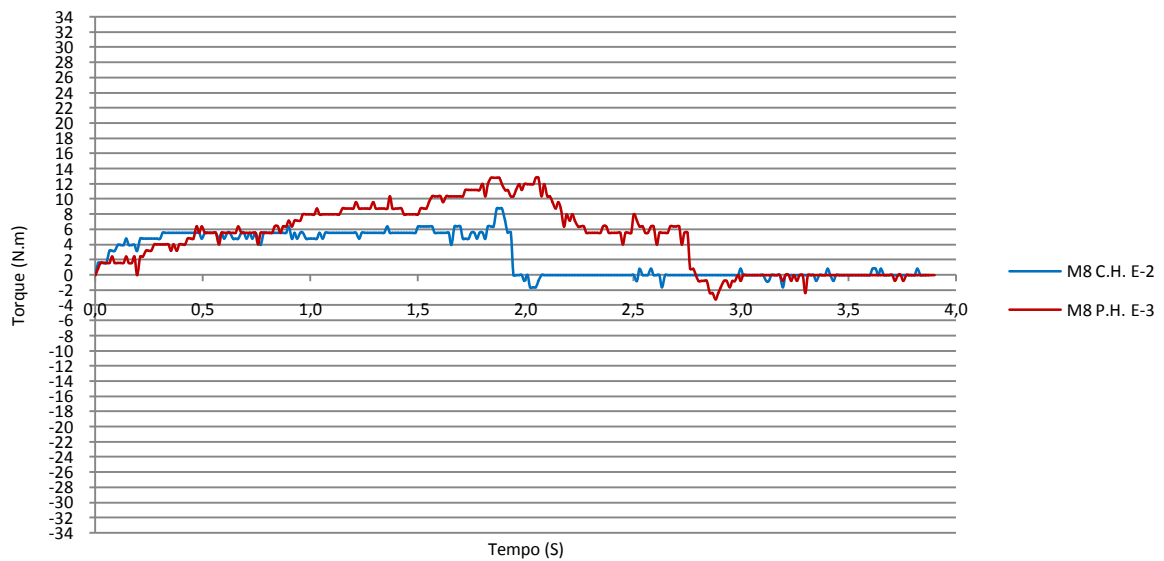


Figura 4-8 Sinais de torque decorrente do processo de rosqueamento dos machos M8 de canais helicoidais e de ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo: M8 CH E-2) Ensaio dois do macho M8 de canais helicoidais; M8 PH E-3) Ensaio três do macho M8 de ponta helicoidal.

Já os sinais de torque dos machos M10, também da OSG, mostrado na Figura 4-9, tanto o de canais helicoidais como o de ponta helicoidal obtiveram valores próximos.

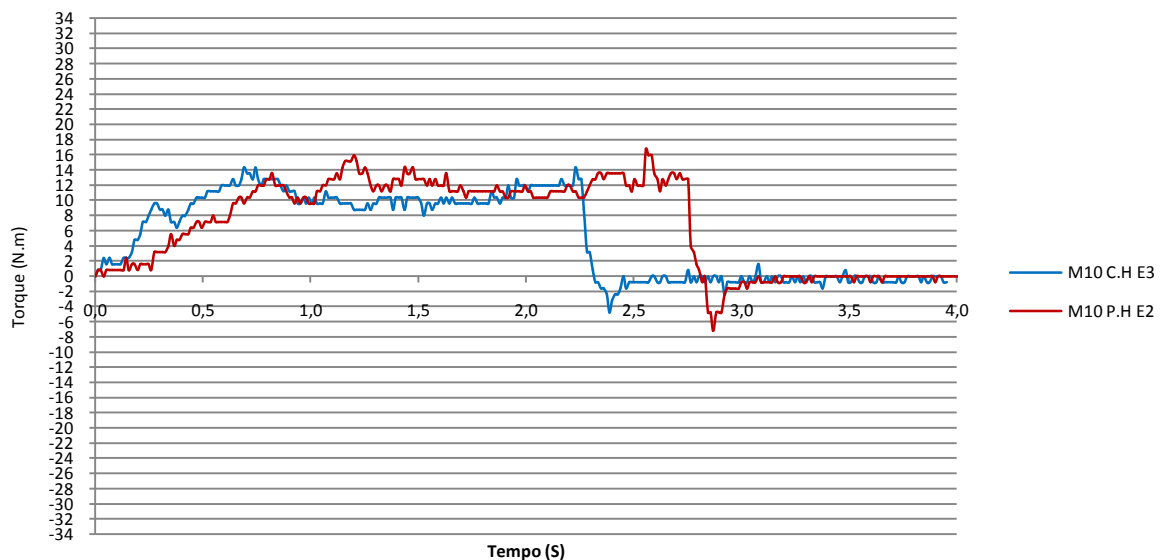


Figura 4-9 Sinais de torque decorrente do processo de rosqueamento dos machos M10 de canais helicoidais e de ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo: M10 CH E-3) Ensaio três do macho M10 de canais helicoidais; M10 PH E-2) Ensaio dois do macho M10 de ponta helicoidal.

Porém, nos ensaios realizados com o macho M12 de canais helicoidais e o de ponta helicoidal, mostrados na Figura 4-10, percebe-se que o ensaio dois (E2) do macho de canais

helicoidais teve um valor de torque superior ao do ensaio três (E3) do macho de ponta helicoidal.

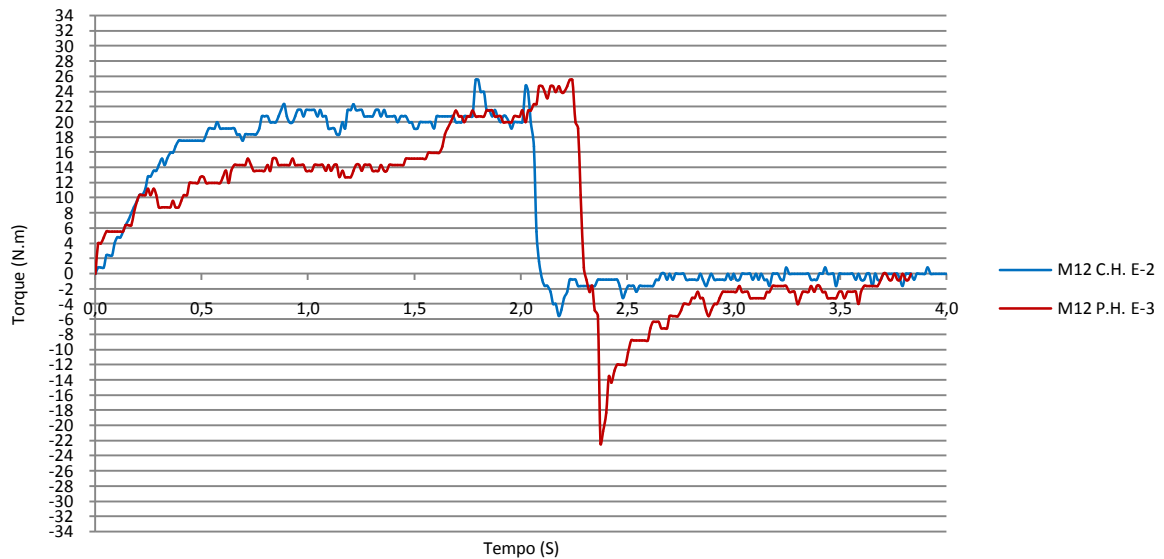


Figura 4-10 Sinais de torque decorrente do processo de rosqueamento dos machos M12 de canais helicoidais e de ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo: M12 CH E-2) Ensaio dois do macho M12 de canais helicoidais; M12 PH E-3) Ensaio dois do macho M12 de ponta helicoidal.

Fazendo-se, novamente, usos dos três ensaios realizados com cada macho, criou-se o gráfico da Figura 4-11, que mostra a média dos torques máximos promovidos pelos três ensaios realizados com cada macho.

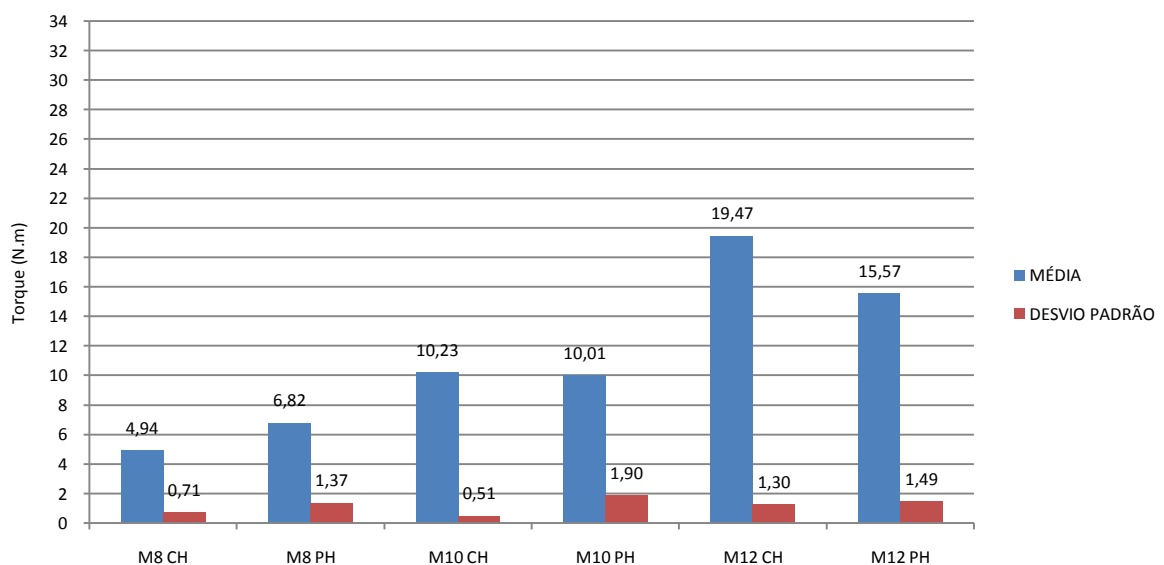


Figura 4-11 Média e desvio padrão dos torques promovidos pelos machos de canais helicoidais e ponta helicoidal de HSS da OSG, na fase estável do processo; lubrificação por camada de óleo: M8 CH) M8 de canais helicoidais; M8 PH) M8 de ponta helicoidal; M10 CH) M10 de canais helicoidais; M10 PH) M10 de ponta helicoidal; M12 CH) M12 de canais helicoidais; M12 PH) M12 de ponta helicoidal.

Pode-se concluir, através dos gráficos, que a geometria das ferramentas não é o fator predominante no aumento ou diminuição do torque, já que os ensaios dos machos M8 e M12 mostram resultados contrários na relação torque versus geometria, enquanto que os ensaios realizados com o macho M10 mostraram valores próximos para ambas as geometrias, o que sugere haver outro fator que influêncie no torque que não seja a geometria dos machos.

Utilizando os estudos sobre rosqueamento de Cao e Sutherland (2002), pôde-se fazer um estudo comparativo com os sinais de torque encontrados nos ensaios deste trabalho. A Figura 4-12 mostra quatro ensaios realizados pelos pesquisadores, utilizando um macho M10 de HSS e canais retos, em diferentes condições de lubrificação, onde são comparados os resultados simulados por software (estimado) com os resultados medidos. Pode-se perceber a proximidade dos resultados, se comparado ao ensaio apresentado na Figura 4-9, sendo ambos realizados em condições similares quanto ao material, ferramenta e lubrificação.

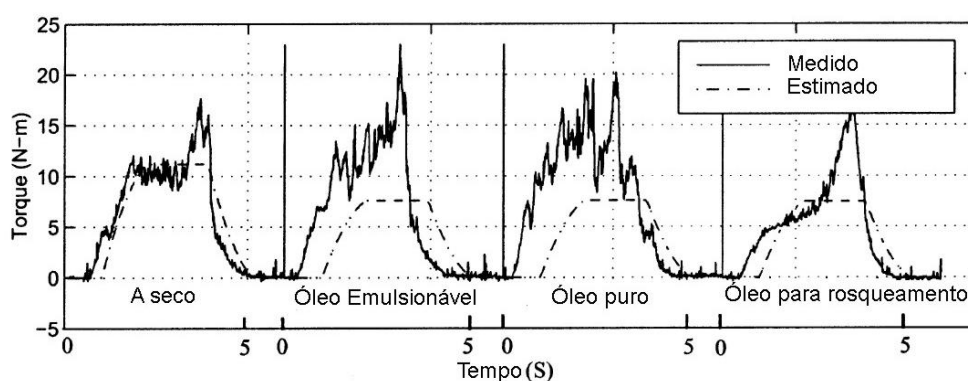


Figura 4-12 Comparação dos sinais de torque com diferentes condições de lubrificação; M10 X 1,5; profundidade de corte de 12,7 mm; velocidade do eixo árvore de 175 rpm.
Fonte: Figura adaptada de Cao e Sutherland (2002).

Outro comparativo pode ser feito em relação aos ensaios realizados por Puzović (2006), onde é utilizado um macho M10 de HSS e canais retos para a usinagem de aço JUS C.1730, ao valor de SAE 1060, também comparando os resultados simulados em software (estimado) com os medidos. Pode-se observar na Figura 4-13 que o sinal de torque permanece próximo ao encontrado nos ensaios anteriores para o mesmo tamanho de ferramenta.

Esses valores sugerem que os resultados encontrados nos ensaios desse trabalho estão próximos aos encontrados na literatura.

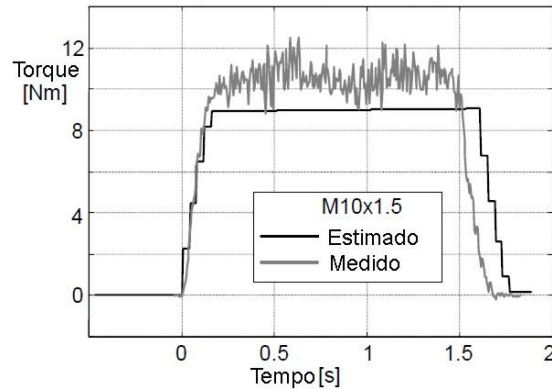


Figura 4-13 Comparação entre o torque estimado e o sinal de torque medido, resultante do processo de rosqueamento com macho M10 x 1,5 de HSS e canais retos.

Fonte: Figura adaptada de Puzović (2006).

Com o objetivo de analisar a influência da lubrificação no processo de rosqueamento, fez-se ensaios com os machos nas condições com e sem lubrificação. A Figura 4-14 mostra um dos ensaios realizados com o macho M8 de HSS da TDC, onde o ensaio três (E-3), realizado sem lubrificação (S/Lub) apresentou valores superiores de torque, comparado com o ensaio um (E-1) do mesmo macho, usando lubrificação (C/Lub). Apesar do método de lubrificação não ter sido eficaz (aplicação apenas de uma camada de óleo na ferramenta e no furo antes do processo), o mesmo colaborou para a diminuição do sinal de torque.

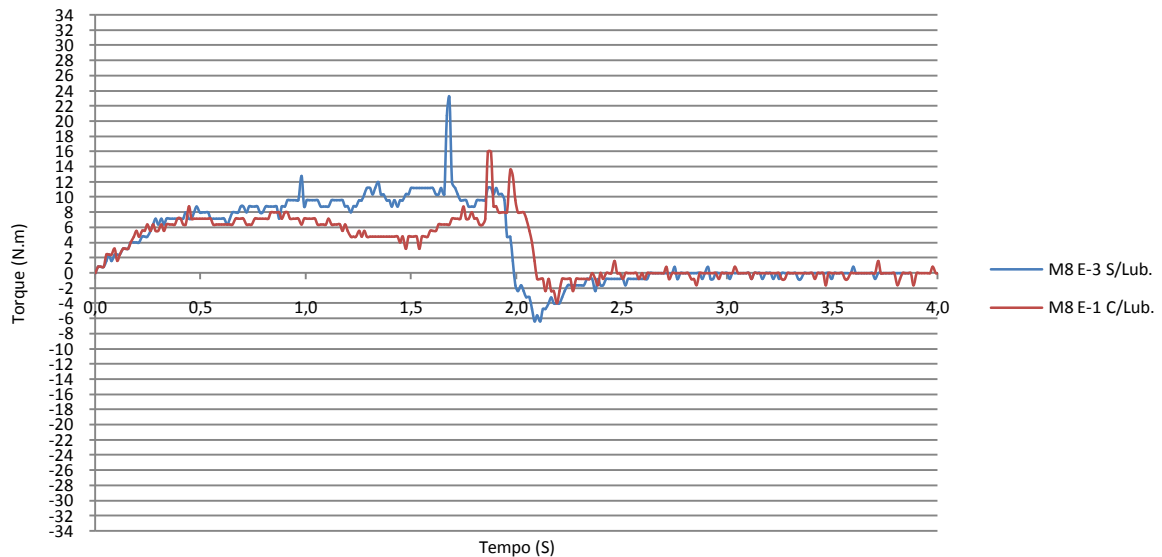


Figura 4-14 Sinal de torque promovido pelo processo de rosqueamento do macho M8 de canais helicoidais da TDC, com e sem a utilização de lubrificação: M8 E-3 S/Lub.) Ensaio três do M8 sem lubrificação; M8 E-1 C/Lub.) Ensaio um do M8 utilizando lubrificação.

Fazendo a média dentre os valores de torque na fase estável do processo, os quais podem ser vistos no gráfico da Figura 4-15, comprovou-se que a lubrificação teve influência nos esforços de torque dos ensaios realizados.

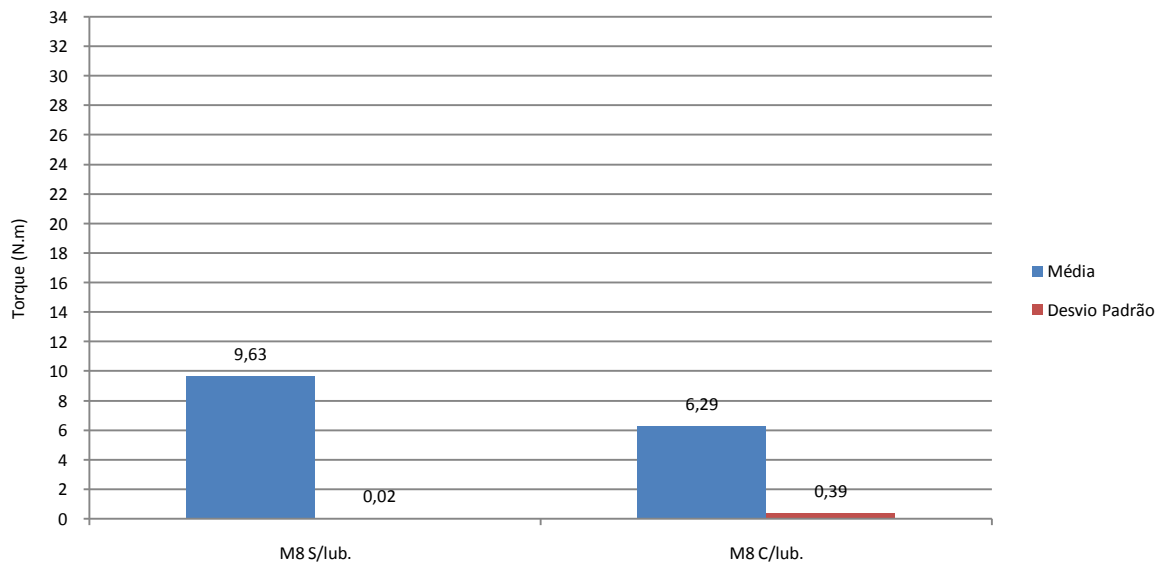


Figura 4-15 Média e desvio padrão, do torque promovido pelo macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC, na fase estável do processo: M8 S/Lub) Usinagem sem utilização de lubrificação; M8 C/Lub) Usinagem com utilização de lubrificação.

Outra análise feita foi entre os machos M8 de HSS-E sem revestimento superficial e com revestimento de TiN, ambos da TDC, na usinagem sem lubrificação. A Figura 4-16 mostra o ensaio três (E-3) realizado com um macho sem cobertura e o ensaio um (E-1) realizado com ferramenta com cobertura.

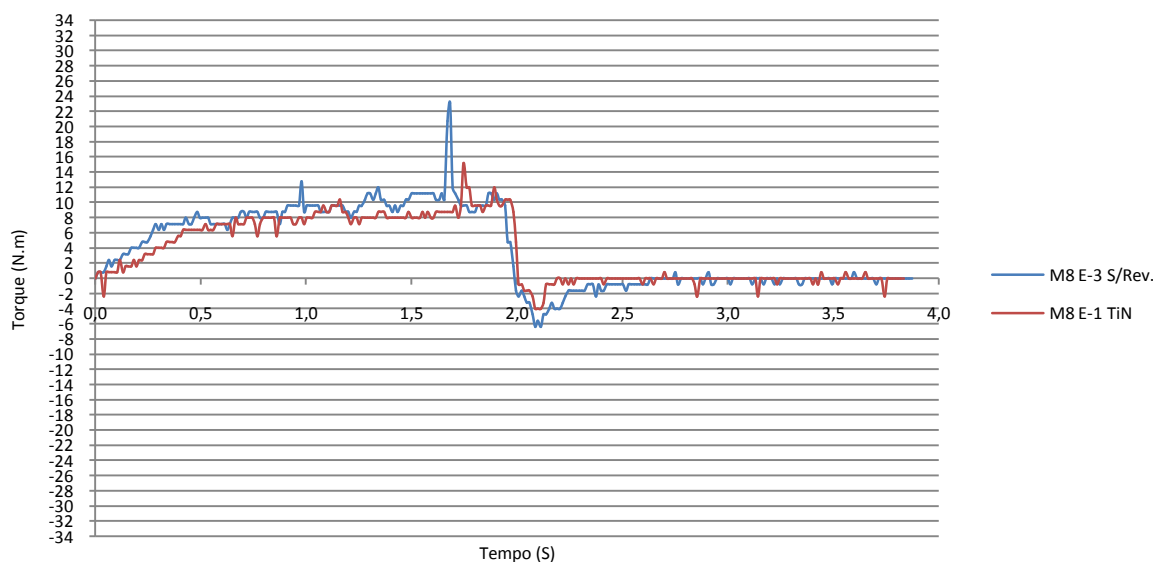


Figura 4-16 Sinais de torque promovidos pelo processo de rosqueamento do macho M8 da TDC sem cobertura e com cobertura de TiN. Usinagem sem lubrificação: M8 E-3 S/Rev.) Ensaio três do M8 sem revestimento; M8 E-1 TiN) Ensaio um do M8 com revestimento de TiN.

Pode-se observar a diferença no sinal de torque decorrente da utilização do revestimento superficial no macho, na usinagem a seco. Isso mostra a importância dos

revestimentos nas ferramentas, não só para aumentar a vida útil mas também diminuir a energia consumida no processo. A Figura 4-17 mostra a média dos ensaios realizados nas duas situações, na qual se comprova novamente a importância deste tipo de ferramenta.

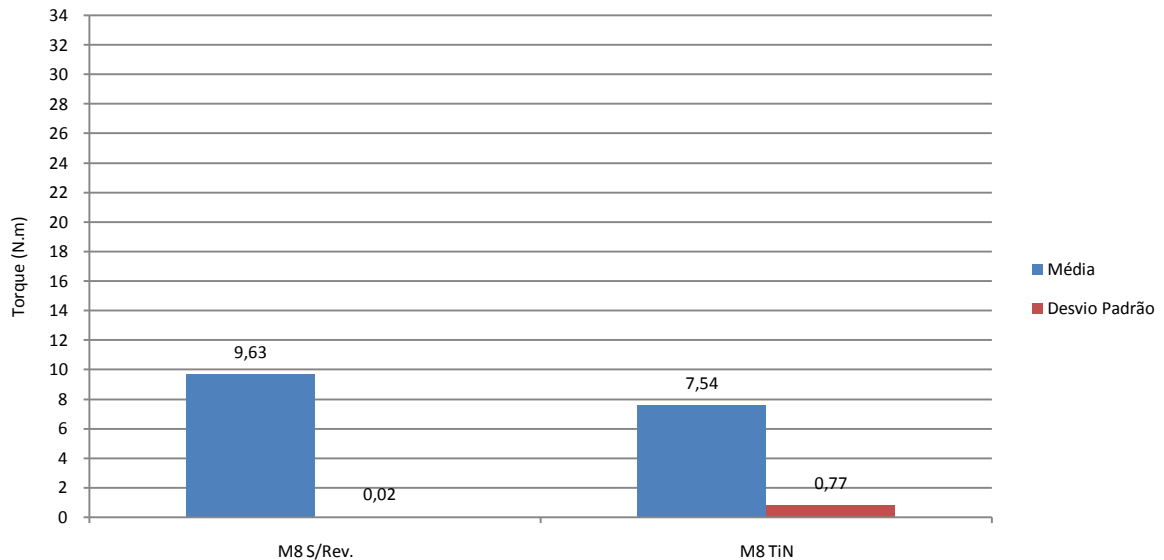


Figura 4-17 Média e desvio padrão do torque promovido pelo macho M8 de HSS-E sem cobertura e com cobertura de TiN da TDC, na fase estável do processo; usinagem sem lubrificação: M8 S/Rev.) Ensaio com o macho M8 sem revestimento; M8 TiN) Ensaio com o macho M8 com revestimento de TiN.

Fazendo uma análise dos esforços de torque, promovidos pelos machos da TDC, mostrados na Figura 4-18, pode-se observar (como no gráfico da Figura 4-6) o consequente aumento do torque em decorrência do aumento do tamanho da ferramenta.

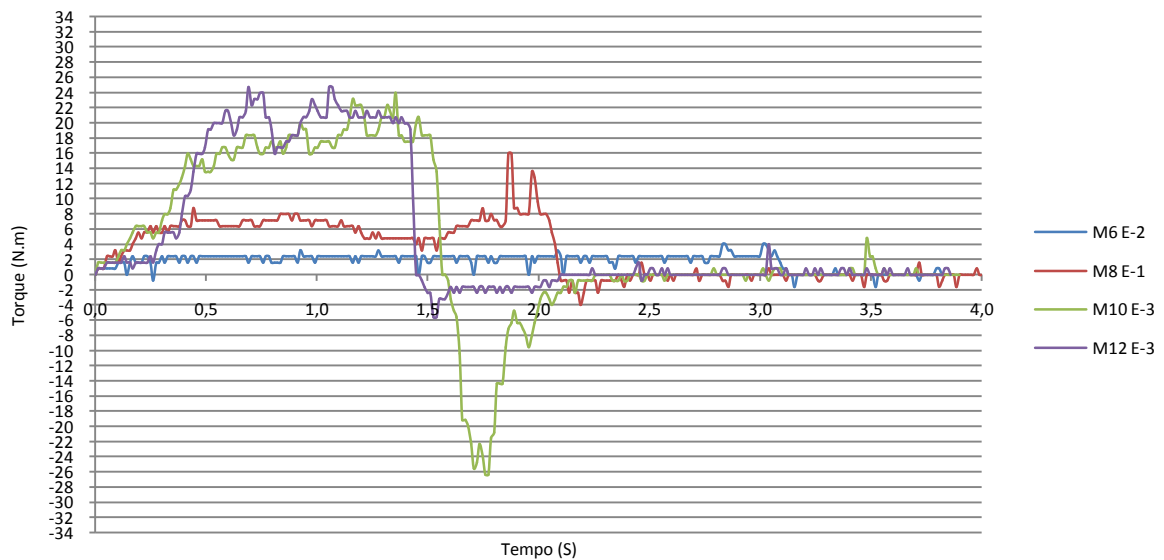


Figura 4-18 Sinais de torque dos processos de rosqueamento com os machos de HSS-E da TDC; usinagem com lubrificação: M6 E-2) Ensaio dois do macho M6; M8 E-1) Ensaio um do macho M8; M10 E-3) Ensaio três do macho M10; M12 E-3) Ensaio três do macho M12.

Utilizando a mesma metodologia usada para os ensaios dos machos da OSG, fez-se a média entre os valores de torque, na fase estável do processo, dos três ensaios realizados com cada ferramenta da TDC, os quais podem ser vistos no gráfico da Figura 4-19.

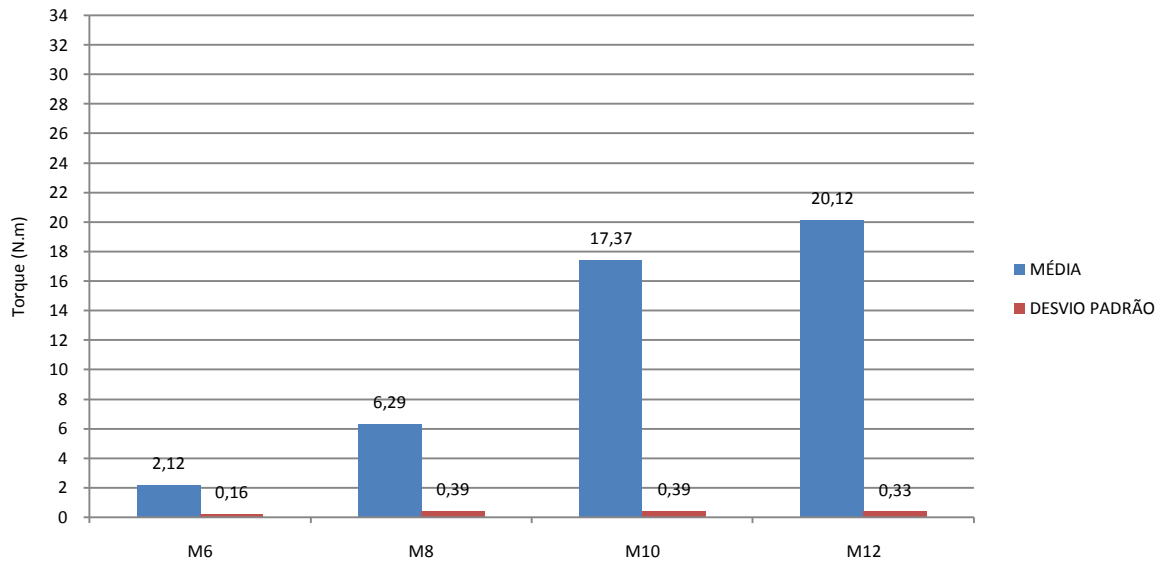


Figura 4-19 Média e desvio padrão dos sinais de torque dos ensaios de rosqueamento dos machos de HSS-E da TDC, na fase estável do processo.

Empregando os dados adquiridos nos ensaios realizados com os machos de canais helicoidais e os de ponta helicoidal da OSG e TDC, pôde-se criar o gráfico “tamanho do macho versus torque requerido”, mostrado na Figura 4-20. Através dele pode-se verificar o torque requerido, para cada tamanho de macho, nas usinagens com lubrificação.

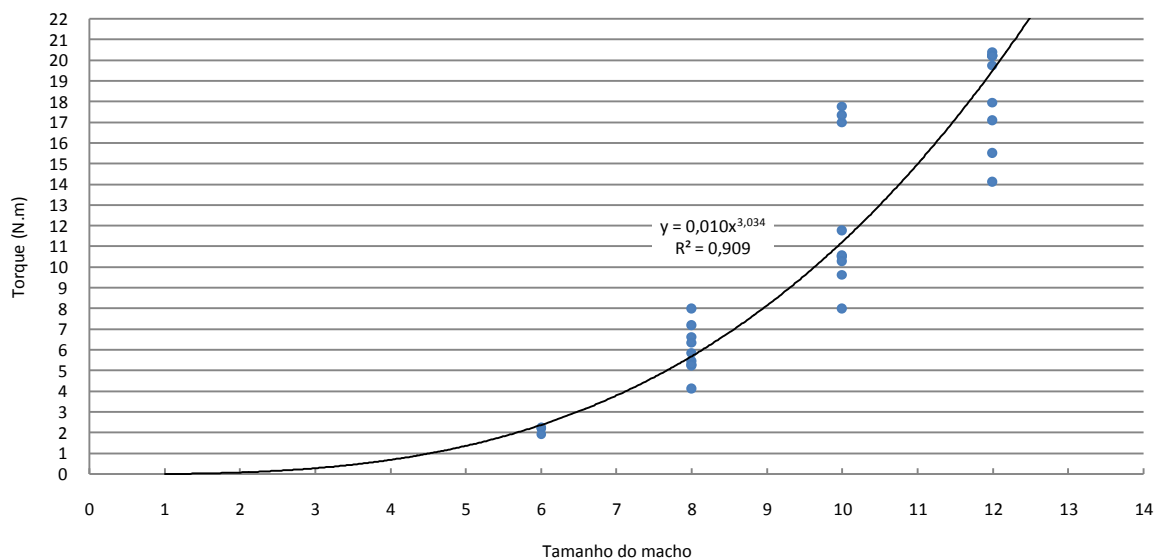


Figura 4-20 Gráfico tamanho de macho versus torque requerido.

O gráfico mostra também, a equação gerada pela curva, onde “y” é o torque requerido e “x” o tamanho do macho escolhido. O coeficiente de determinação para este gráfico ficou em 0,909.

Vale ressaltar que o gráfico foi feito com base nos experimentos realizados neste trabalho, com características de ferramentas, materiais e condições por este apresentado, não abrangendo outros fatores de influência no processo de rosqueamento, como materiais e ângulos das ferramentas.

CAPÍTULO V

5 CONCLUSÃO

Os resultados obtidos nesse trabalho permitem concluir que:

- O projeto do sistema de aquisição dos dados de torque obteve resultados satisfatórios nas medições realizadas durante os ensaios, mostrando ser um sistema confiável para esta tarefa;
- Os ensaios realizados neste trabalho apresentam valores de torque similares a outros estudos realizados, mostrando que os dados apresentados são coerentes;
- Os sinais de torque obtidos nos ensaios mostraram clareza quanto as fases principais do processo de rosqueamento: imersão, estado estável de corte e retorno. Pôde ser observada também a instabilidade nos valores de torque, característico do processo de rosqueamento com machos de roscar;
- O sistema mostrou de forma clara o torque excessivo ocorrido no retorno do processo de rosqueamento do macho M10 da TDC, durante os ensaios, porém, as causas do ocorrido necessitam de estudos mais aprofundados para esclarecer o fenômeno;
- Há diferença de esforços de torque entre os diferentes tamanhos de machos, sendo que quanto maior o tamanho da ferramenta, maior será o torque requerido para a usinagem da rosca, mas essa relação não se mostrou linear;
- O uso de lubrificante no processo de rosqueamento com machos contribuiu para a diminuição dos esforços de torque, independentemente do processo de aplicação;
- O uso de revestimento superficial na ferramenta teve influência significativa na diminuição dos esforços de torque no processo de usinagem sem lubrificação, mostrando a importância deste tipo de solução para o rosqueamento a seco;
- O gráfico “tamanho do macho versus torque requerido” contribuiu para a verificação dos esforços de torque no processo de rosqueamento. Contudo ela não abrange outros fatores de influência no processo, como materiais e ângulos das ferramentas.

6 PROPOSTAS PARA TRABALHOS FUTUROS

A metodologia empregada neste trabalho suscitou dúvidas que fazem jus a investigações posteriores, tais como:

- Investigar qual a faixa de erro que o equipamento utilizado para obtenção dos dados de torque oferece;
- Analisar e implementar melhorias no sistema de aquisição de dados de torque no que diz respeito ao “ruído” que ocorre no circuito;
- Projetar e produzir um transdutor de torque que consiga medir, além do torque, as forças axiais que ocorrem no processo de rosqueamento com machos de roscar;
- Analisar o torque produzido no processo de rosqueamento em diferentes materiais e/ou com geometrias de ferramentas diferentes;
- Estudar o torque produzido na furação com brocas de diferentes materiais, diferentes parâmetros de corte e em diferentes materiais usinados;
- Elaborar um software específico para leitura dos dados de torque e esforços, incluindo a geração de gráficos.

REFERÊNCIAS

ASSOCIAÇÃO BRASILEIRA DE NORMAS TÉCNICAS (ABNT), 1986, “**P-Tb-41 - Terminologia e Simbologia De Roscas – Terminologia Brasileira**”, Rio De Janeiro, Brasil.

BARRETO Júnior, Euler. **Módulo I – Aprenda extensometria, princípios de funcionamento do extensômetro**. Apostila. 1998.

BARRETO Júnior, Euler. **Módulo II – Instrumentação e extensometria, construa transdutores à base de strain gages**. Apostila. 1998.

BEZERRA, A. A.; COELHO, L. R.; JÚNIOR, A. B.; SOTO, M. **A lubrificação de mínima quantidade a alta velocidade de corte**. Revista Máquinas e Metais. Aranda Editora. São Paulo. Ano XL, n. 464, Set. 2004. p 62-75.

BORCHARDT, Ildon Guilherme. **Introdução ao estudo de transdutores com “strain gages”**. 1.ed. São Leopoldo: UNISINOS, 1999. 39p.

BORCHARDT, Ildon Guilherme; ZARO, Milton Antônio. **Extensômetros de resistência elétrica, princípios de operação e utilização em transdutores: “strain gages”**. Porto Alegre: Ed. da Universidade. 1982. 69p.

CAO, T.; SUTHERLAND, J.W. **Investigation of thread tapping load characteristics through mechanistics modeling and experimentation**. International Journal of Machine Tools & Manufacture. v. 42. jul. 2002. p. 1527–1538. Disponível em: <<http://www.sciencedirect.com>> acessado em 13 mar. 2010.

CON-677. **CIMM**. Figura, color. Disponível em: <http://www.cimm.com.br/portal/noticia/material_didatico/3347>. Acesso em 23 jan. 2010.

DA MOTA, Paulo Rosa. **Investigação do comportamento de ferramentas de aço-rápido no processo de rosqueamento interno em alta velocidade de corte**. 2006 Tese de mestrado (Engenharia Mecânica). Universidade federal de Uberlândia – UFU. Uberlândia, MG – Brasil.

DE BRITO, Renato Machado. **Sistema eletro-eletrônico para medição direta de torque em dispositivos girantes utilizando extensômetros de resistência elétrica**. 1994 Tese de doutorado (Engenharia Elétrica). Universidade federal do Rio Grande do Sul – UFRGS. Porto Alegre, RS – Brasil.

DINIZ, Anselmo Eduardo; MARCONDES, Francisco Carlos; COPPINI, Nivaldo Lemos. **Tecnologia da usinagem dos materiais**. 2. ed. São Paulo: Artliber, 2000. 244 p.

DORMER. **Manual técnico**. Disponível em <<http://www.dormertools.com.br>>. Acesso em 14 Dez. 2009.

FERRARESI, Dino. **Fundamentos da usinagem dos Metais**, São Paulo: Editora Edgard Blucher Ltda. 1977. 1 v. 754p.

FREIRE, José de Mendonça. **Tecnologia do corte**. 1. ed. Rio de Janeiro: LTC, 1977. 370 p.

HELFRICK, Albert D.; COOPER, William D. **Instrumentação eletrônica moderna e técnicas de medição**. 1. ed. Rio de Janeiro: Prentice-Hall, 1994. 324 p.

HOFF, ALEXANDRE GOMES. **Medição de força de usinagem utilizando um transdutor piezoelétrico**. 2009 TCC (Engenharia Elétrica) – Universidade do Vale do Rio dos Sinos UNISINOS, São Leopoldo, RS, Brasil.

INMETRO. **Vocabulário Internacional de Metrologia: conceitos fundamentais e gerais e termos associados (VIM 2008)**. 1 ed. Rio de Janeiro, 2009.

ISO 3685 - 1977. **Tool Life Testing with Single-Point Turning Tools**.

KYOWA. **Strain gages handbook**. Japan, 2004. 156p.

LINSS, M. **Processo de rosqueamento de alto desempenho**. Revista Máquinas e Metais. Aranda Editora. São Paulo. Ano XXXIX, n. 443, Dez. 2002. p 24-33.

MECATRÔNICA ATUAL. **Extensômetros de resistência elétrica - Parte 2 - Tipos comerciais, codificação e desempenho**. Disponível em: <<http://www.mecatronicaatual.com.br>>. Acesso em 23 jan. 2010.

NORTON, Roberto L. **Projeto de máquinas: Uma abordagem integrada**. Tradução João Batista de Aguiar; José Manuel de Aguiar. 2. ed. Editora Bookmann, Porto Alegre. 2004. 931p.

OSG. **Catálogo geral – Machos, Fresas e Cossinetes**. 2010-2011. Disponível em: <<http://www.osg.com.br>>. Acesso em 23 jan. 2010.

PUZOVIĆ, Radovan; Kokotović, Branko. **Prediction of thrust force and torque in tapping operations using computer simulation**. 2006. Faculty of Mechanical Engineering, University of Belgrade. Disponível em <<http://www.mas.bg.ac.rs>>. Acesso em 13 mar. 2010.

ROSQUEADEIRA1200G3. **Dauer**. 1 fotografia, color. Disponível em: <http://www.maquinaasdauer.com.br/site.php?destino=produtos_rosqueadeirasartic>. Acesso em 16 jan. 2010

SAKAMOTO, Y.; TAKAYA, M.; ISHII, Y.; IGARASHI, S. **Surface modified tool fabricated by radical nitriding**. *Surface and Coatings Technology*. v. 142-144, p. 152-155. jul. 2001.

SCMSRL. **Mandrino ad inversione automatica serie 24000-Catalogo tecnico**. Disponível em: < <http://www.scmsrl.com/en/prodotti/mandrino24000.htm> >. Acesso em 16 jan. 2010.

REIS, A.M.; COELHO, G.A.B.; BARBOSA, F.Q.; DA SILVA, M.B.. **Monitoramento do desgaste de ferramentas no processo por sinal de potência**. Revista Máquinas e Metais. Aranda Editora. São Paulo. Ano XLI, n. 467, Dez. 2004. P 40-55.

SANTOS, S.C; SALES, W.F. **Aspectos tribológicos da usinagem dos materiais**. Artliber Ltda. São Paulo, Brasil, 2007. 246 p.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte I**. 5. ed. Florianópolis: UFSC, 2001. 249 p.

STEMMER, Caspar Erich. **Ferramentas de corte II: brocas, alargadores, ferramentas de roscar, fresas, brochas, rebolos e abrasivos**. 2. ed. Florianópolis: UFSC, 1995. 326 p.

TDC. Catálogo geral. 2009. Disponível em: < <http://www.tdc-tools.com.br>>. Acesso em 23 jan. 2010.

WALTER. **Product handbook - Drilling & Threading**. Disponível em: <<http://www.walter-tools.com>>. Acesso em 16 jan. 2009

WEBER, Albano Luiz. **Apostila de metrologia e instrumentação - Extensometria**. 2008. Universidade de Caxias do Sul – UCS. Caxias do Sul, RS – Brasil.

1211. **Iscar**. 1 fotografia, color. Disponível em : <<http://www.iscar.com/Ecat/familyHDR.asp?fnum=1211&app=110&mapp=IT&GFSTYP=M&type=1&lang=PR>>. Acesso em: 16 jan. 2010.

APÊNDICE A - CÁLCULO DOS TORQUES PRODUZIDOS PELOS MACHOS DE ROSCAR

Para determinar o torque produzido pelos machos de roscar, foi utilizado a equação retirada do catálogo técnico da fabricante Dormer:

$$M_d = \frac{p^2 \cdot D \cdot k_c}{8000} \quad (A-1)$$

Onde:

M_d representa o torque, em N.m;

p representa o passo da rosca do macho, em mm;

D representa o diâmetro efetivo do macho, em mm;

k_c representa a força específica de corte para rosqueamento, em MPa;

A tabela A-1 mostra os tamanhos de machos calculados, suas variáveis e o resultado dos torques.

Tabela A-1 Tamanhos de machos, suas variáveis e torque requerido para rosqueamento

Tamanho do macho	p (mm)	D (mm)	k_c (MPa)	M_d (N.m)
M6	1	6	2000	1,5
M8	1,25	8	2000	3,13
M10	1,5	10	2000	4,5
M12	1,75	12	2000	9,2

Observação: k_c foi retirado de tabelas do catálogo técnico da Dormer, para aço ao carbono de baixa resistência.

APÊNDICE B - DIMENSIONAMENTO DO EIXO DE TORÇÃO DO TRANSDUTOR DE TORQUE

O eixo de torção do transdutor, que receberá os esforços de torque, foi produzido em aço SAE 1045, cujas propriedades se encontram na Tabela B-1, retiradas de Norton (2004).

Tabela B-1 Características do aço SAE 1045

Material	SAE 1045
Tensão de escoamento do material (τ_{em}) - MPa	310
Módulo de elasticidade transversal do material (G) - MPa	78603
Módulo de elasticidade longitudinal do material (E) - MPa	20685

As dimensões do eixo foram estimadas, sendo seu diâmetro de torção de 10 mm e seu comprimento de torção 50 mm, conforme mostra a Figura B-1.

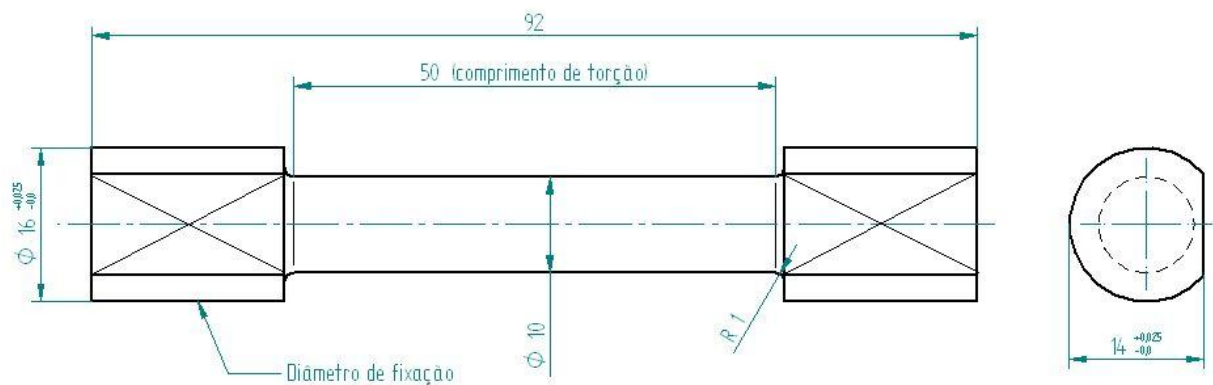


Figura B-1 Eixo de torção.

O momento de inércia polar para eixo maciço foi calculado com a seguinte equação:

$$J = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot r^4 \quad (\text{B-1})$$

Onde:

J representa o momento de inércia polar do eixo, em mm^4 ;

r representa o raio do eixo de torção, em mm.

Logo:

$$J = \frac{1}{2} \cdot \pi \cdot 5^4 = 981,7 \text{ mm}^4$$

A tensão no eixo devido ao torque foi calculada com a seguinte equação:

$$\tau_{to} = \frac{T.r}{J} \quad (\text{B-2})$$

Onde:

τ_{to} representa a tensão no eixo devido ao torque, em MPa;

T representa o torque aplicado ao eixo em N.mm;

r representa o raio do eixo de torção, em mm.

O torque utilizado na equação B-2, para estimar a tensão no eixo, foi o de maior valor entre os machos utilizados nos ensaios. Ou seja: 9,2 N.m ou 9200 N.mm.

Logo:

$$\tau_{to} = \frac{9200.5}{981,7} = 46,86\text{MPa}$$

O coeficiente de segurança do eixo é expresso por:

$$S = \frac{\tau_{em}}{\tau_t} \quad (\text{B-3})$$

Onde:

τ_{em} representa a tensão de escoamento do material em MPa;

τ_t representa a tensão no eixo devido ao torque, em MPa.

Logo:

$$S = \frac{310}{46,86} = 6,6$$

Devido ao desgaste das ferramentas os valores de torque podem duplicar (DORMER, 2009), por isso será visto também a segurança com o valor de torque multiplicado por dois.

Logo:

$$\tau_t = \frac{(9200.2).5}{981,7} = 93,71\text{MPa}$$

$$S = \frac{310}{93,71} = 3,3$$

APÊNDICE C - DIMENSIONAMENTO DOS EXTENSÔMETROS

Os extensômetros utilizados no transdutor foram o tipo “biaxial”, cujas características podem ser vistas na tabela C-1:

Tabela C-1 Características do extensômetro tipo “biaxial”

Fabricante	Kyowa
Modelo	KFC-2-D2-11
Fator gage	$2,05 \pm 1\%$
Elemento resistivo	Liga CU NI
Temperatura de operação	-30°C a 80°C
Limite de deformação	5%
Resistência	$120 \Omega \pm 0,4$
Comprimento de deformação	2 mm
Base do extensômetro	Poliamida

A deformação máxima do extensômetro foi calculada com a equação:

$$D_e = \frac{P_d}{100} \cdot L_e \quad (\text{C-1})$$

Onde:

D_e representa a deformação máxima do extensômetro, em mm;

P_d representa a porcentagem de deformação máxima admitida pelo extensômetro, em %;

L_e representa o comprimento de deformação do extensômetro, em mm.

Logo:

$$D_e = \frac{5}{100} \cdot 2 = 0,1 \text{ mm}$$

Com a deformação máxima admissível do extensômetro, pôde-se calcular o torque máximo admissível no eixo que é expressa por (KYOWA, 2004):

$$T_e = \frac{\varepsilon_0 \cdot E \cdot ZP}{1+\nu} \quad (\text{C-2})$$

Onde:

T_e representa o torque máximo admissível pelo extensômetro, em N.m;

ε_0 representa a deformação específica do extensômetro, adimensional;

E representa o módulo de elasticidade longitudinal do material do eixo, onde será fixo o extensômetro, em MPa;

ZP representa o momento de inércia polar do eixo, em mm^4 ;
 ν representa o coeficiente de Poisson do material, adimensional.

ZP e ε_0 contidas na equação C-2, são expressas por:

$$ZP = \frac{\pi \cdot d^3}{16} \quad (C-3)$$

$$\varepsilon_0 = \frac{L_o - L_i}{L_i} \quad (C-4)$$

Onde:

ZP representa o momento de inércia polar do eixo, em mm^4 ;

ε_0 representa a deformação específica do extensômetro, adimensional;

d representa o diâmetro do eixo, em mm;

L_o representa o comprimento inicial do extensômetro, em mm;

L_i representa o comprimento final do extensômetro, em mm.

Logo:

$$\varepsilon_0 = \frac{2,1-2}{2} = 0,05$$

$$ZP = \frac{\pi \cdot 10^3}{16} = 196,34954mm^4$$

Logo, o torque admissível pelo extensômetro é:

$$T_e = \frac{0,05 \cdot 20685 \cdot 196,34954}{1+0,26} = 161170,25N \cdot mm = 161,2N \cdot m$$

APÊNDICE D – CÁLCULO DOS TORQUES PROMOVIDOS PELO SISTEMA DE CALIBRAÇÃO

O cálculo dos torques, promovidos pelas massas adicionados na bandeja do sistema de calibração (mais a massa da bandeja), foram realizados com a seguinte equação:

$$T_c = \frac{[(P_p + P_b) \cdot 0,00981] \cdot L_b}{1000} \quad (D-1)$$

Onde:

T_c representa o torque promovido pelas massas padrões mais a bandeja, em N.m;

P_p representa a massa das massas padrões, em g;

P_b representa a massa da bandeja, em g;

L_b representa o comprimento entre o centro do eixo de torção até o ponto de fixação da bandeja, em mm.

A Figura D-1 mostra o sistema de calibração com as variáveis da equação D-1.

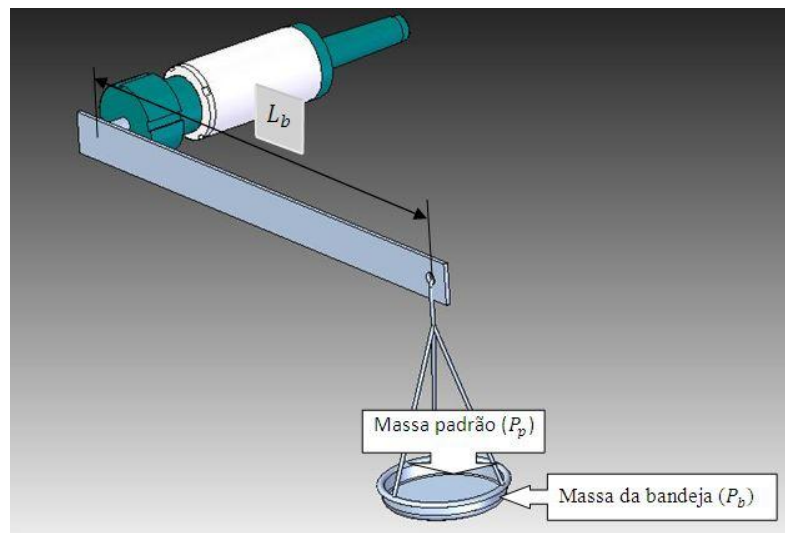


Figura D-1 Variáveis do torque promovido pelas massas padrões e pela bandeja

A barra de torção teve que ser calculada por outra equação, pois o centro de massa da barra tem distância diferente do ponto da bandeja, em relação ao transdutor:

$$T_b = \frac{(P_{ba} \cdot 0,00981) \cdot L_m}{1000} \quad (D-2)$$

Onde:

T_b representa o torque promovido pela barra de torção, em N.m;

P_{ba} representa a massa da barra, em g;

L_m representa o comprimento entre o centro do eixo de torção até o ponto do centro de massa da barra, em mm.

A figura D-2 mostra o sistema de calibração com as variáveis da equação D-2

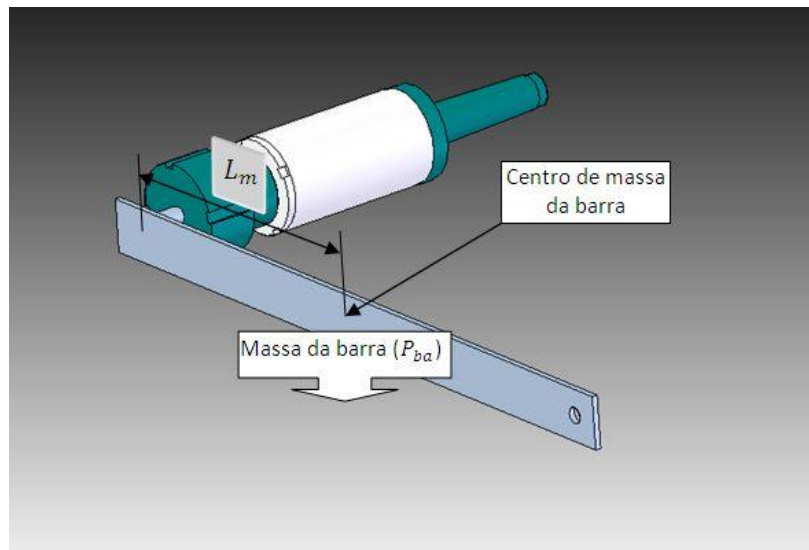


Figura D-2 Variáveis do torque promovido pela barra de torção

O torque total aplicado no transdutor (T_t) pode ser expresso pela equação:

$$T_t = T_c + T_b \quad (D-3)$$

A tabela D-1 mostra as variáveis das equações D-1 e D-2 e o resultado dos torques T_c , T_b e T_t

Tabela D-1 Torque promovido pelas massas padrões mais a bandeja

P_p (g)	P_b (g)	L_b (mm)	T_c (N.m)	P_{ba} (g)	L_m (mm)	T_b (N.m)	T_t (N.m)
49,9	32,6	400	0,32	373,7	198,9	0,7	1,02
100,1	32,6	400	0,52	373,7	198,9	0,7	1,22
200	32,6	400	0,91	373,7	198,9	0,7	1,61
500	32,6	400	2,09	373,7	198,9	0,7	2,79
1000	32,6	400	4,05	373,7	198,9	0,7	4,75
2000,2	32,6	400	7,98	373,7	198,9	0,7	8,68
3000,2	32,6	400	11,90	373,7	198,9	0,7	12,6
4500,2	32,6	400	17,79	373,7	198,9	0,7	18,49
4900,4	32,6	400	19,36	373,7	198,9	0,7	20,06

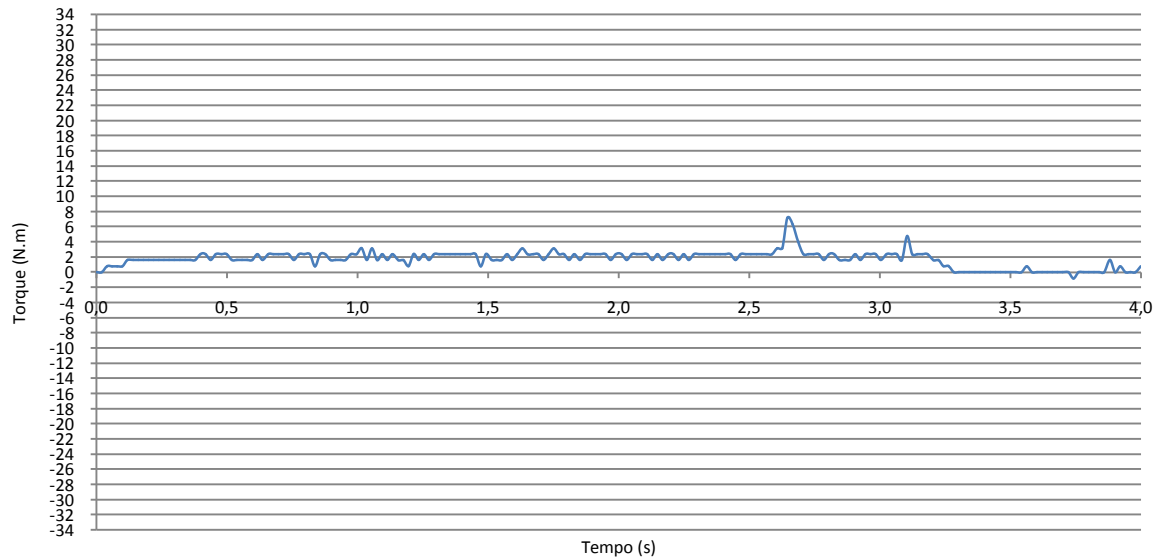
APÊNDICE E – GRÁFICOS DOS ENSAIOS

Figura E-1 Sinal de torque do ensaio um do macho M6 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

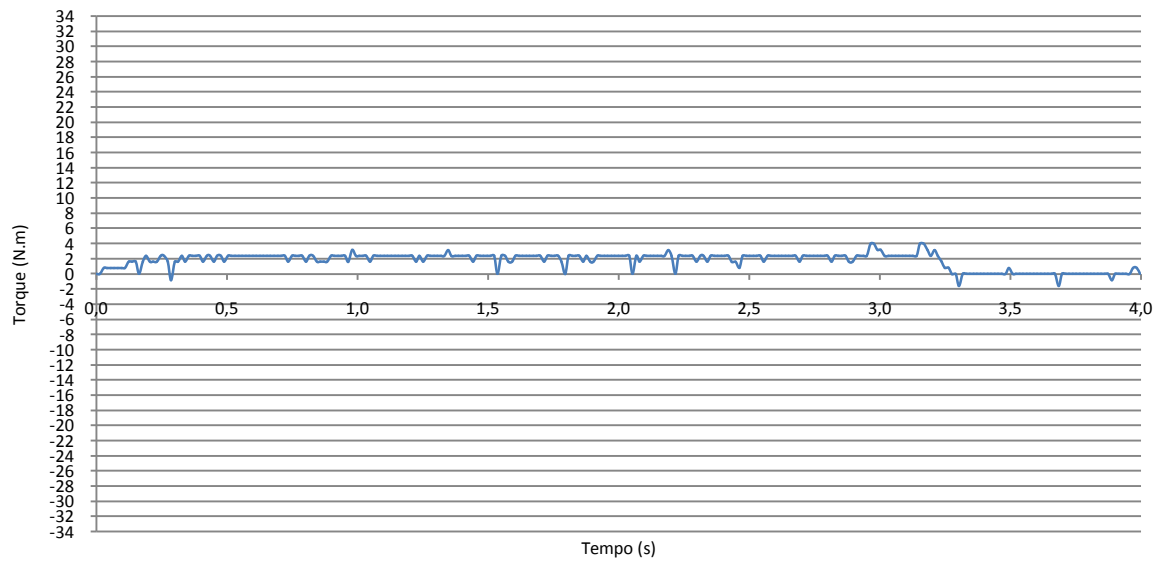


Figura E-2 Sinal de torque do ensaio dois do macho M6 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

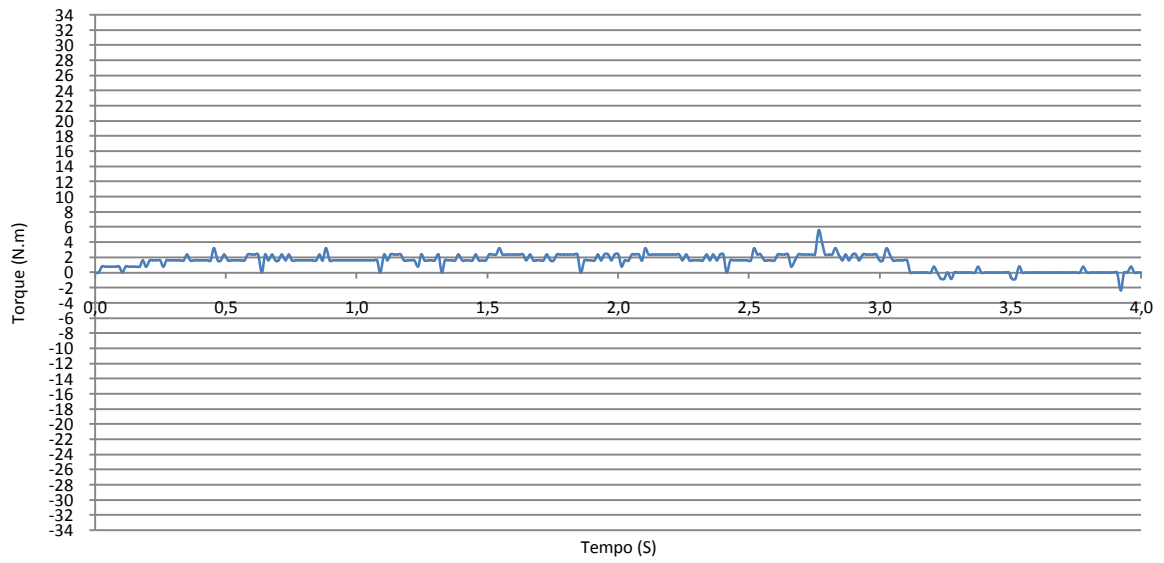


Figura E-3 Sinal de torque do ensaio três do macho M6 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

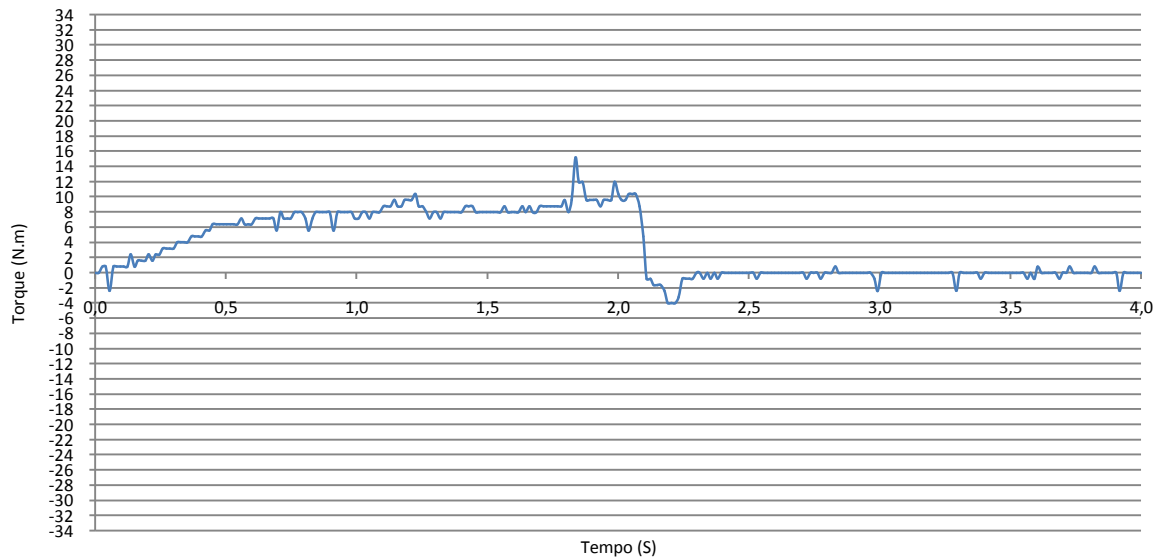


Figura E-4 Sinal de torque do ensaio um do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais, revestido com nitreto de titânio (TiN) da TDC; sem lubrificação; 280 RPM.

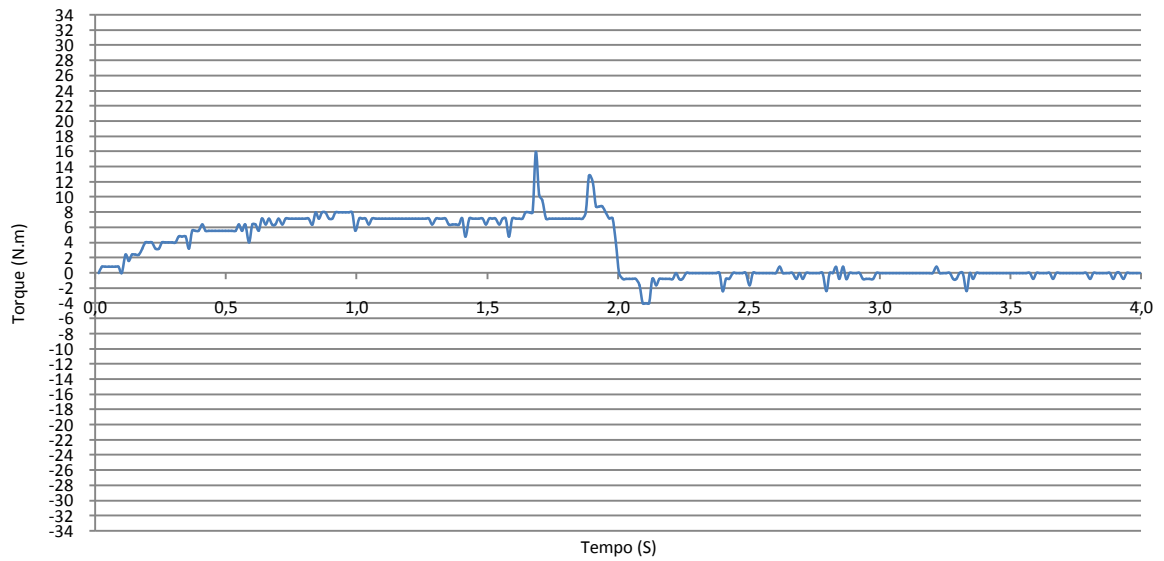


Figura E-5 Sinal de torque do ensaio dois do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais, revestido com nitreto de titânio (TiN) da TDC; sem lubrificação; 280 RPM.

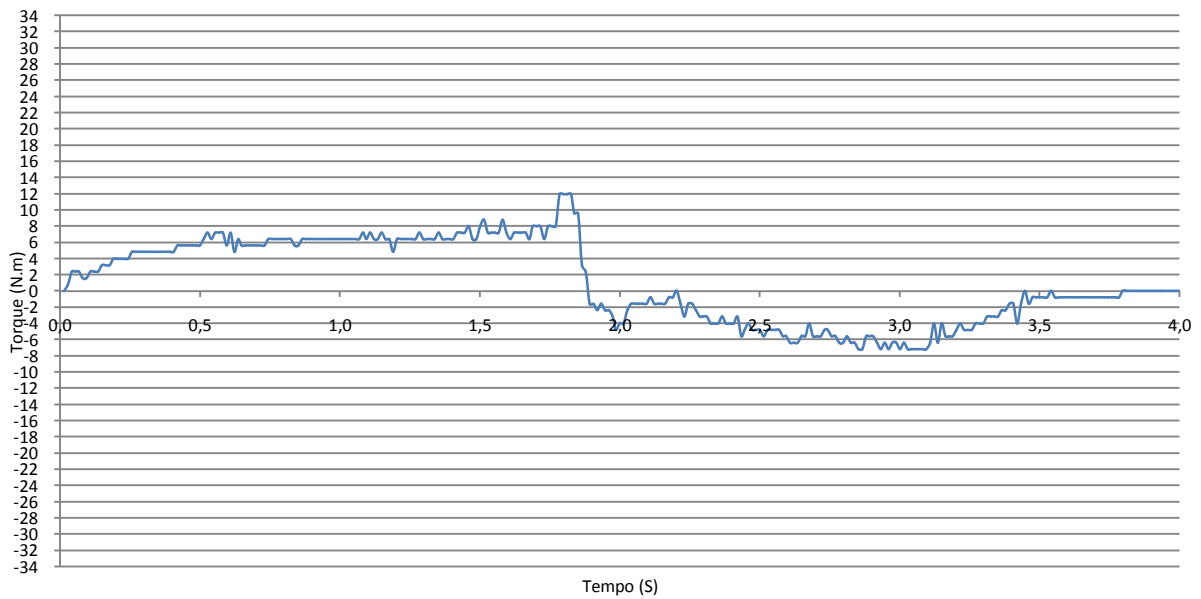


Figura E-6 Sinal de torque do ensaio três do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais, revestido com nitreto de titânio (TiN) da TDC; sem lubrificação; 280 RPM.

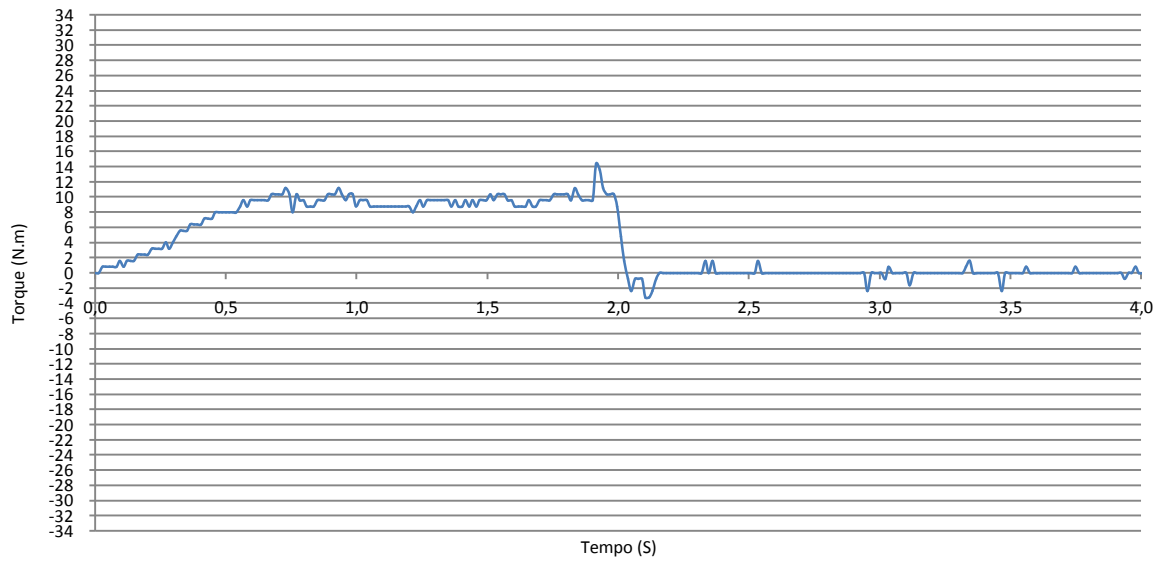


Figura E-7 Sinal de torque do ensaio um do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; sem lubrificação; 280 RPM.

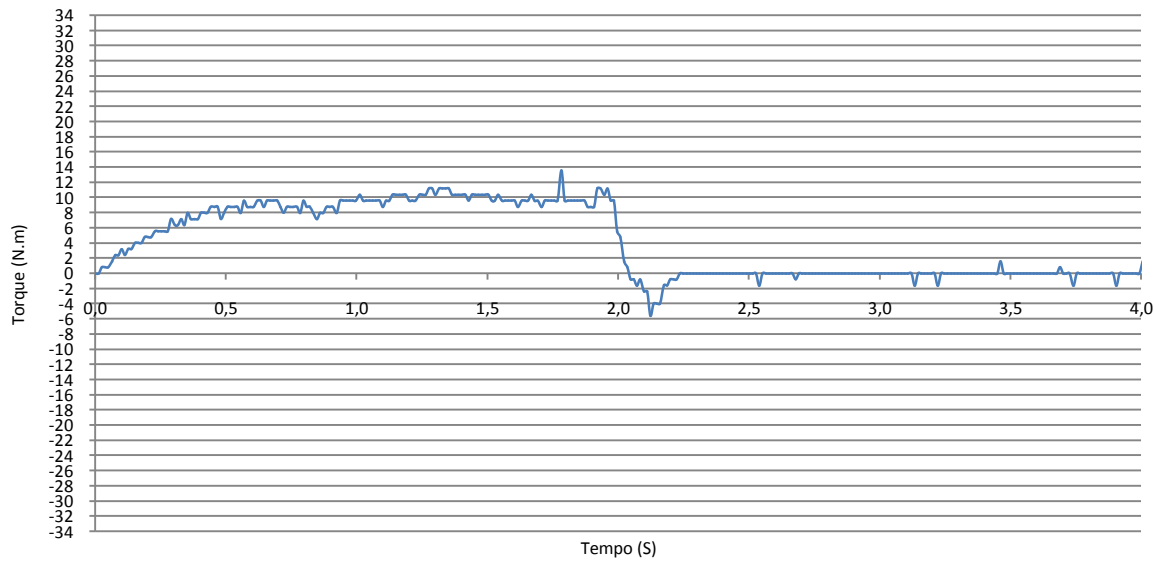


Figura E-8 Sinal de torque do ensaio dois do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; sem lubrificação; 280 RPM.

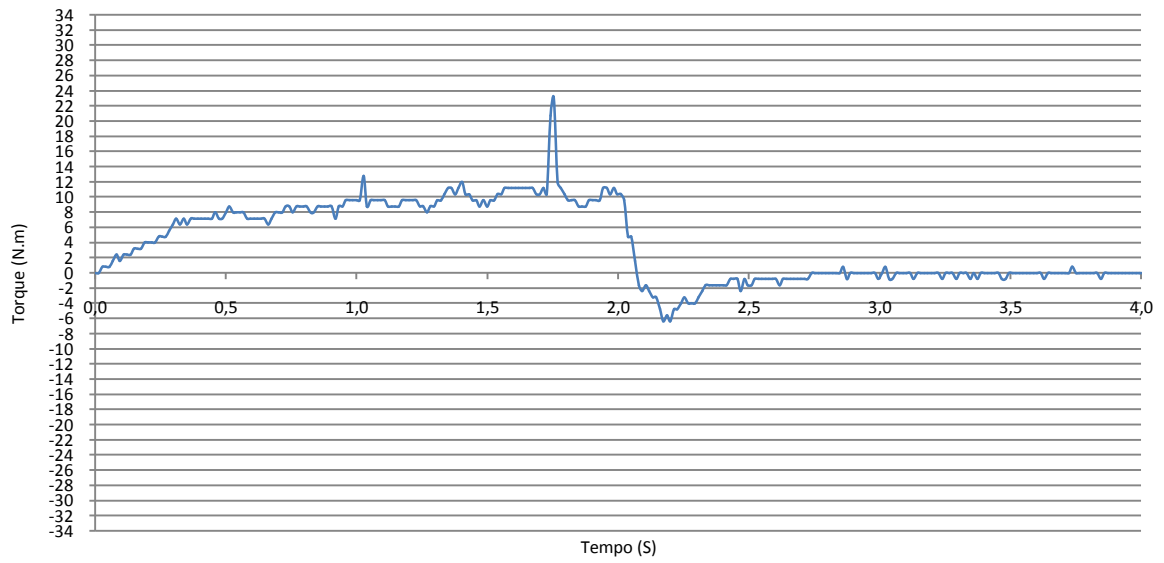


Figura E-9 Sinal de torque do ensaio três do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; sem lubrificação; 280 RPM.

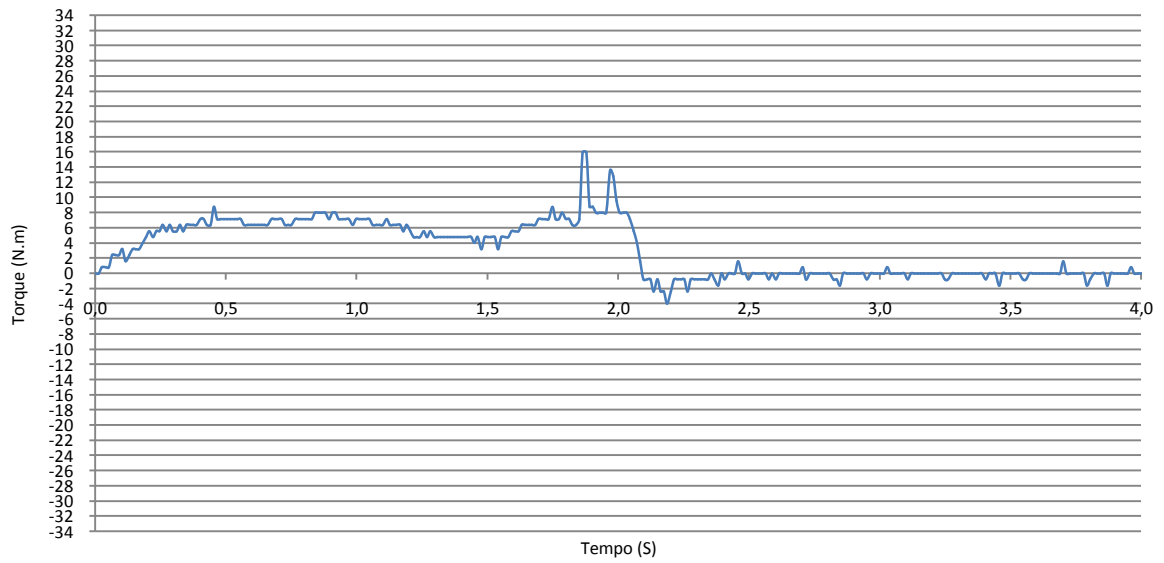


Figura E-10 Sinal de torque do ensaio um do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte; 280 RPM.

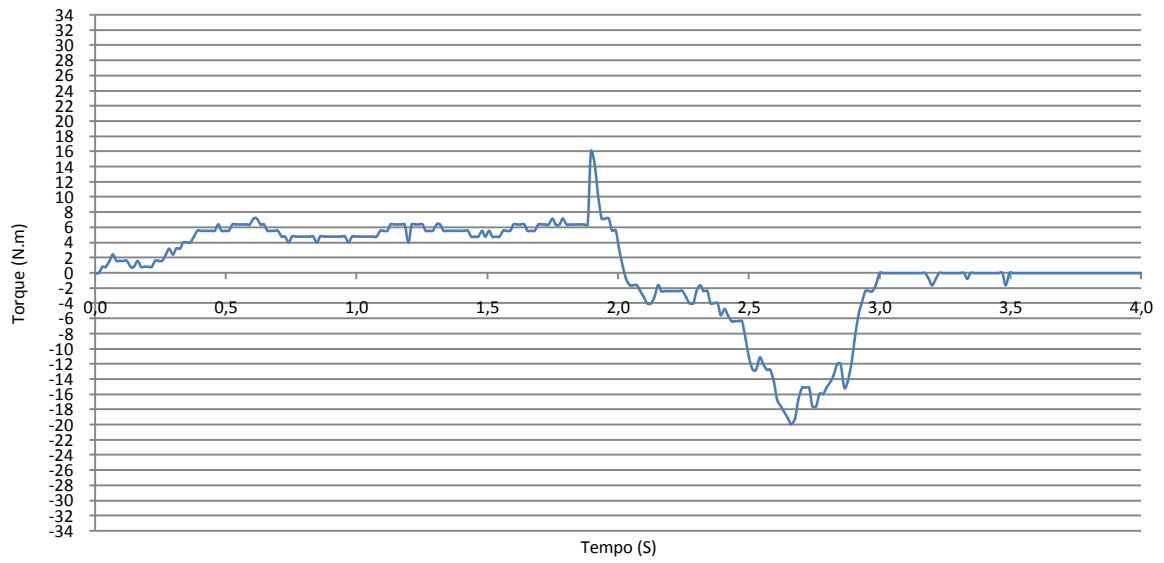


Figura E-11 Sinal de torque do ensaio dois do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

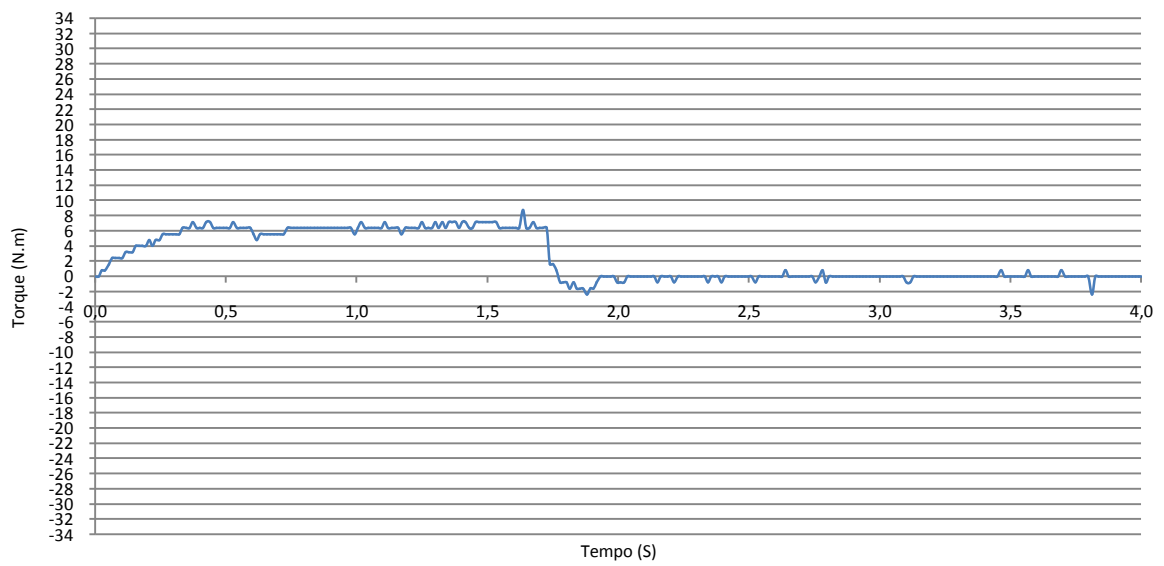


Figura E-12 Sinal de torque do ensaio três do macho M8 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

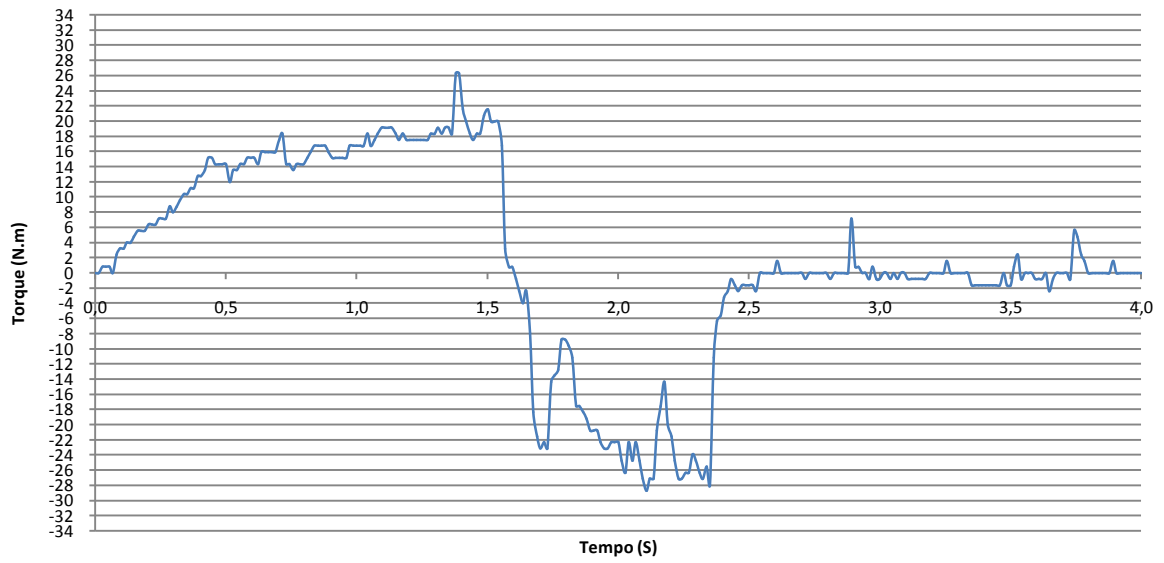


Figura E-13 Sinal de torque do ensaio um do macho M10 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

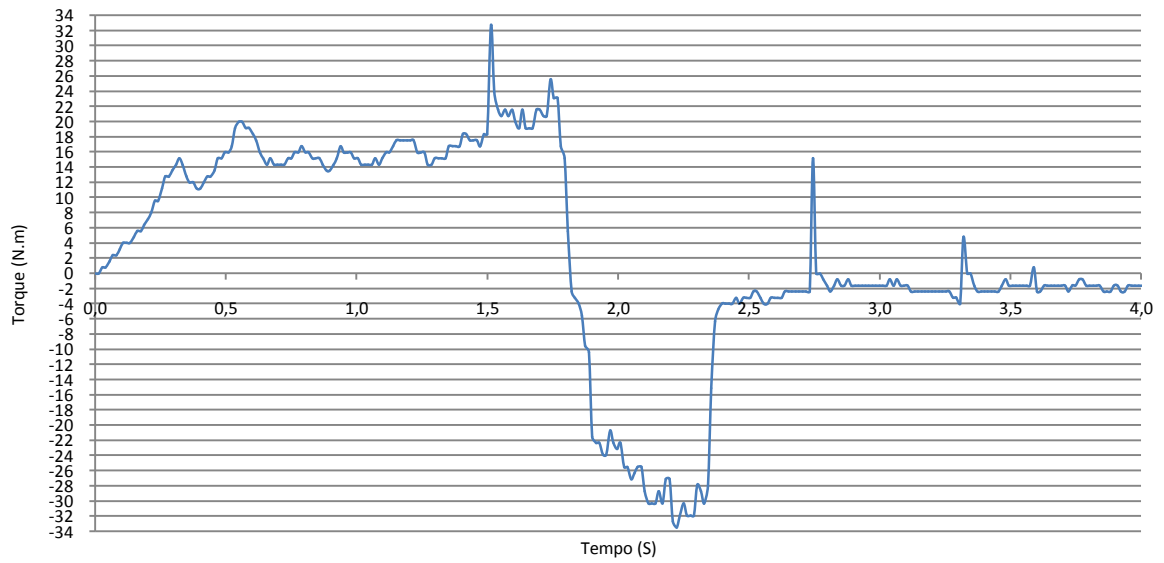


Figura E-14 Sinal de torque do ensaio dois do macho M10 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

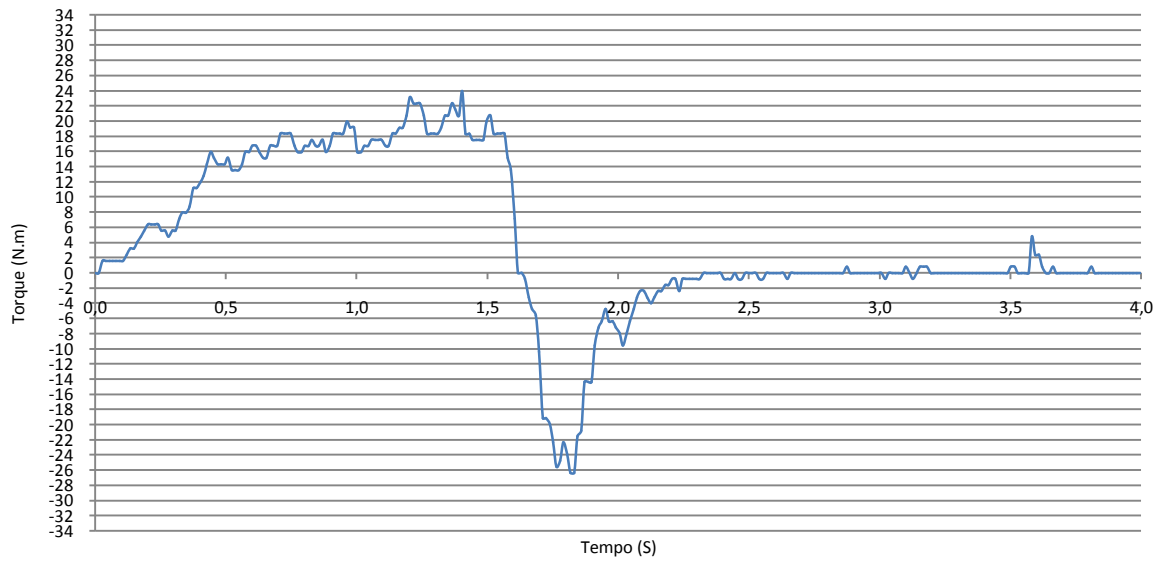


Figura E-15 Sinal de torque do ensaio três do macho M10 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

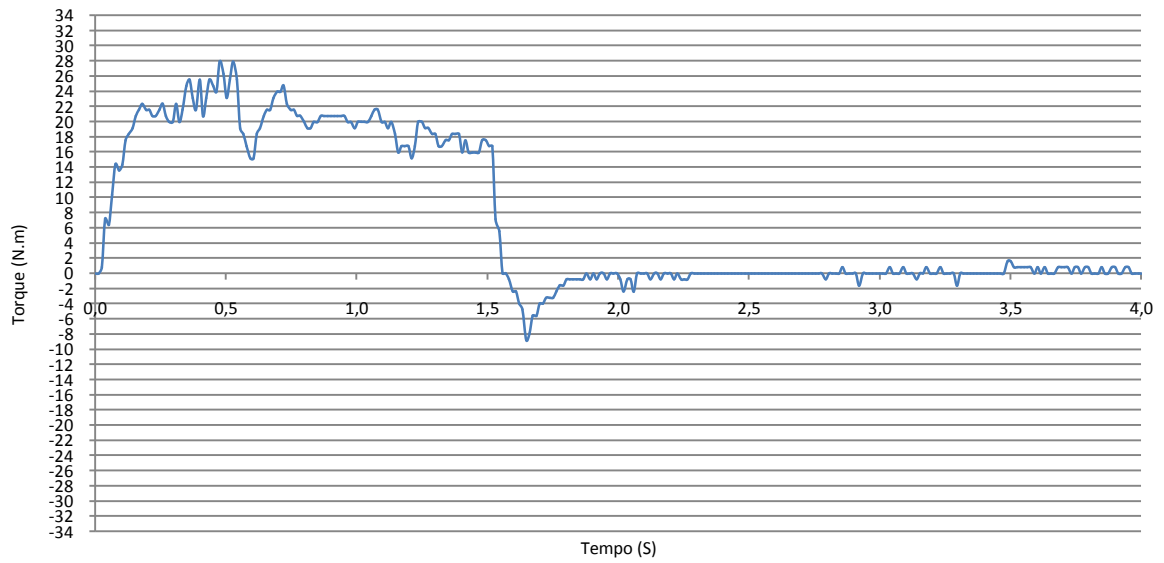


Figura E-16 Sinal de torque do ensaio um do macho M12 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

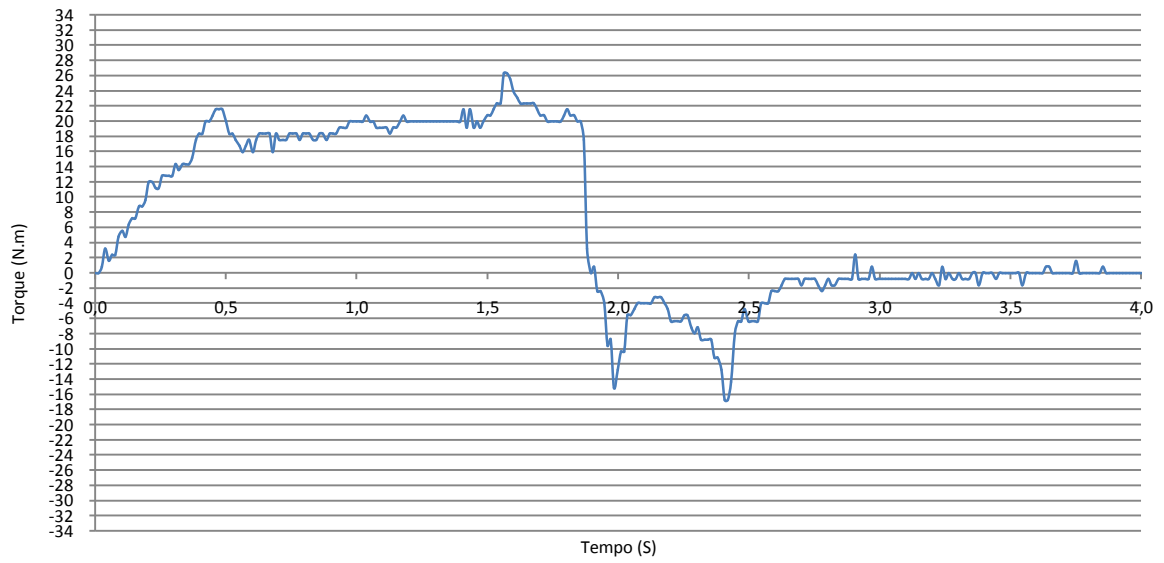


Figura E-17 Sinal de torque do ensaio dois do macho M12 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

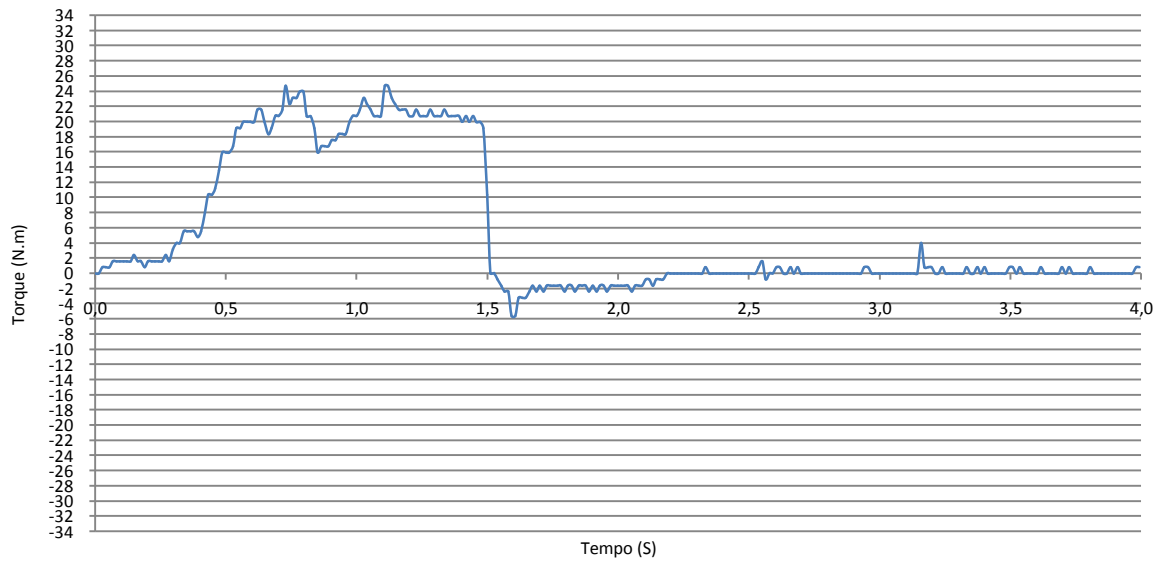


Figura E-18 Sinal de torque do ensaio três do macho M12 de HSS-E e canais helicoidais da TDC; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

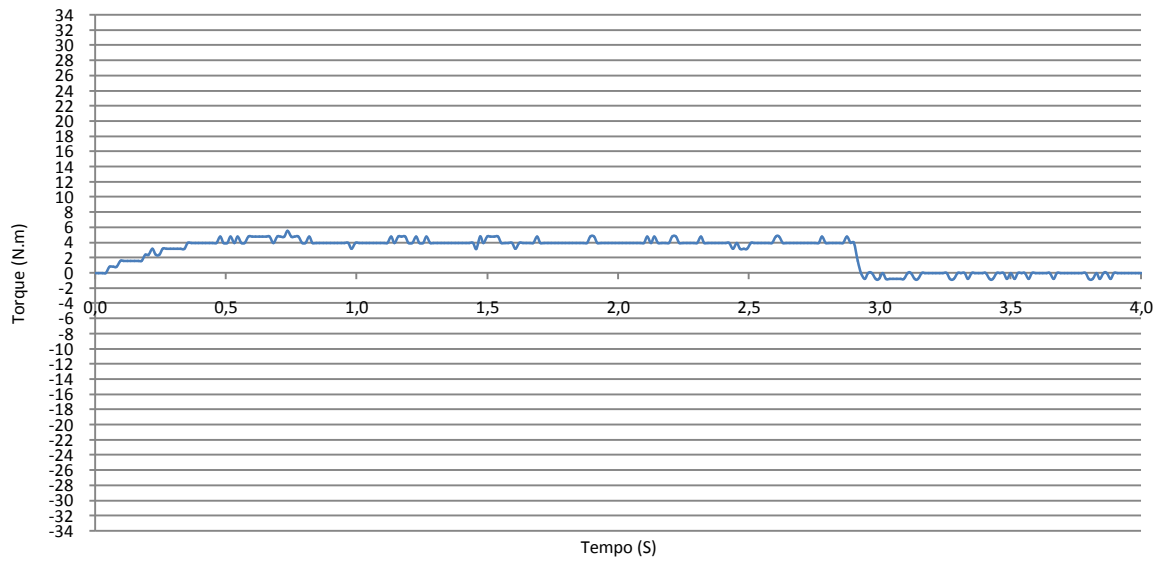


Figura E-19 Sinal de torque do ensaio um do macho M8 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

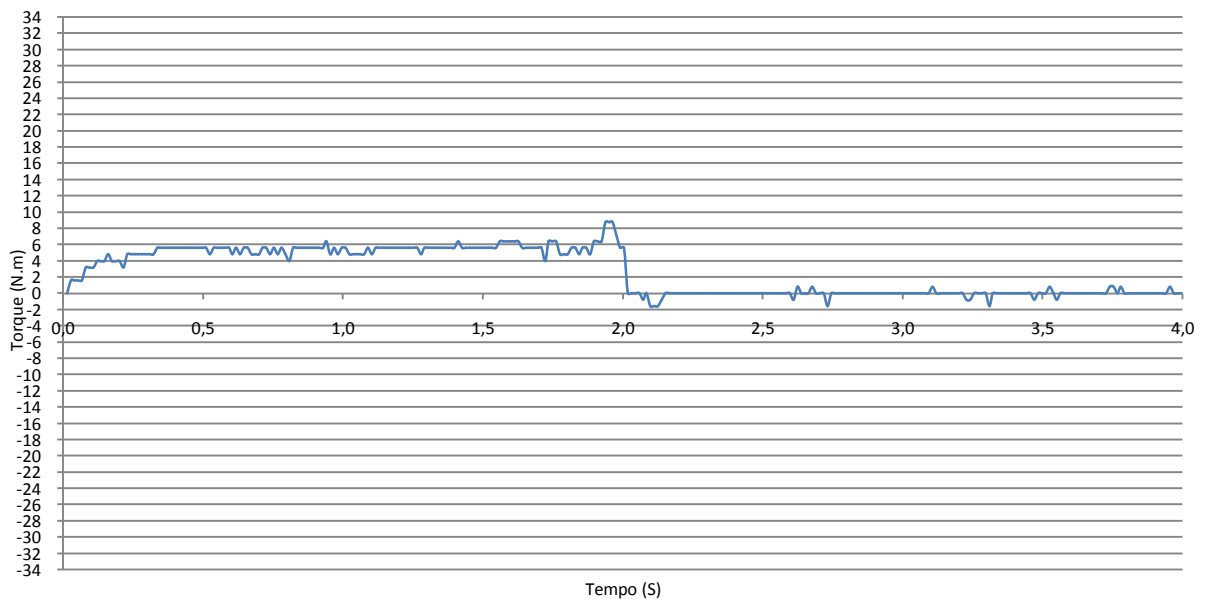


Figura E-20 Sinal de torque do ensaio dois do macho M8 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

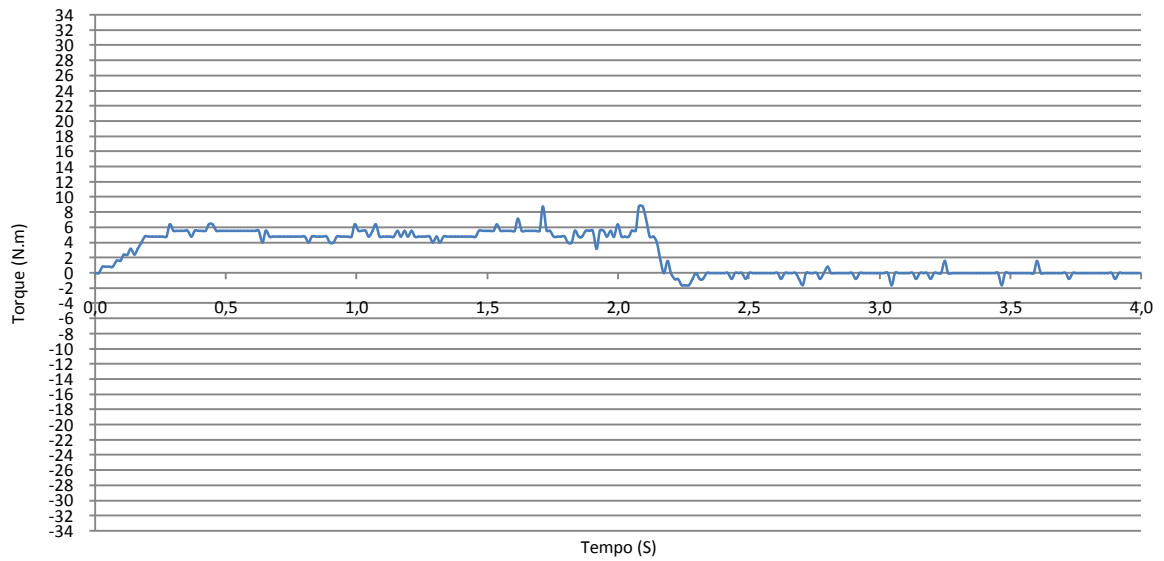


Figura E-21 Sinal de torque do ensaio três do macho M8 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

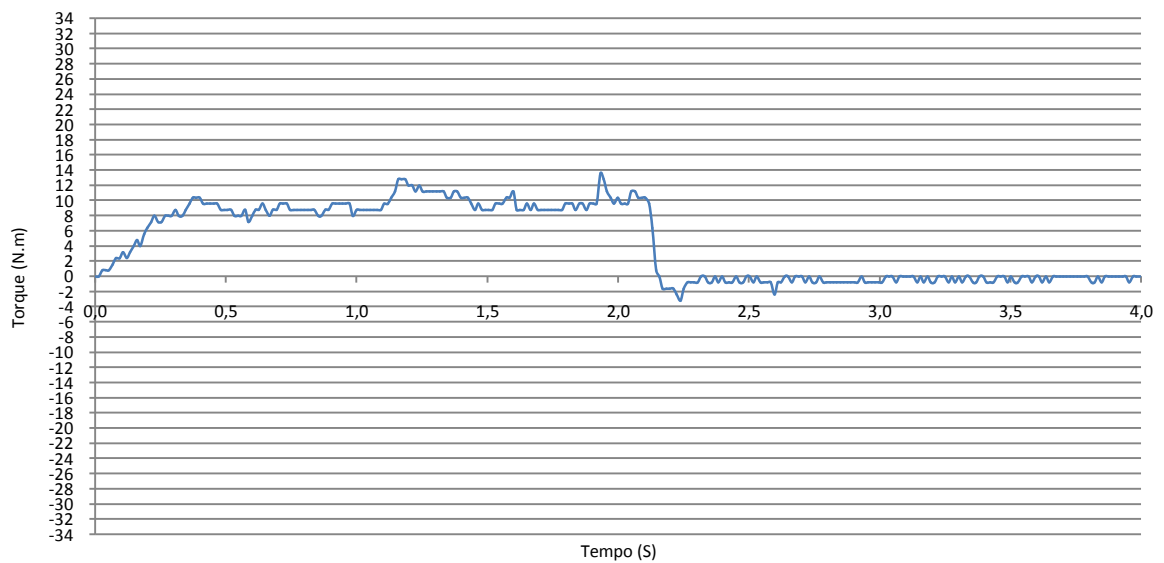


Figura E-22 Sinal de torque do ensaio um do macho M10 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

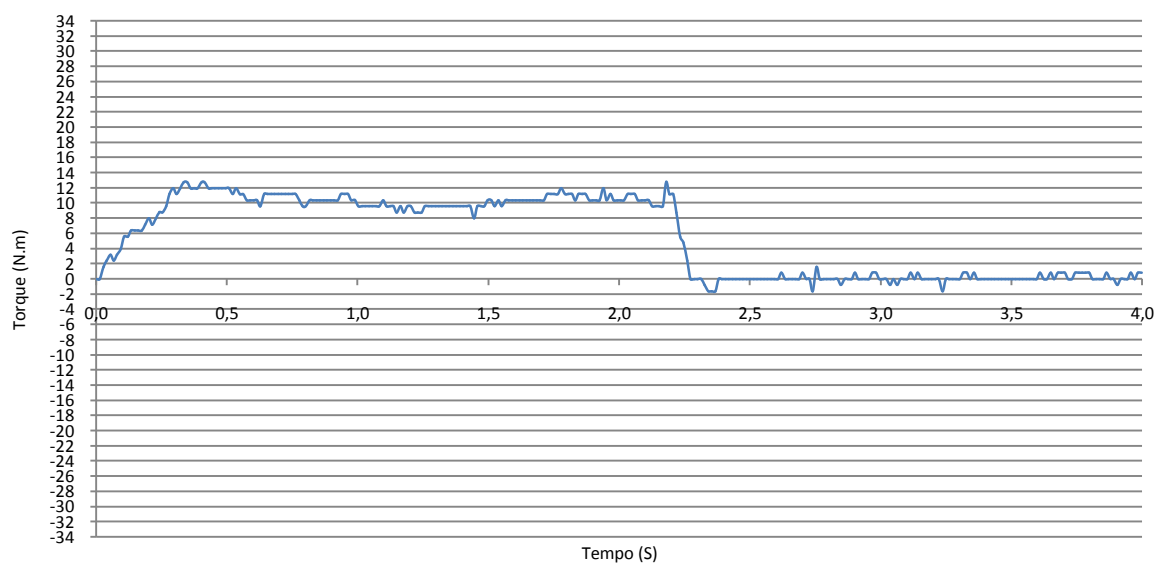


Figura E-23 Sinal de torque do ensaio dois do macho M10 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

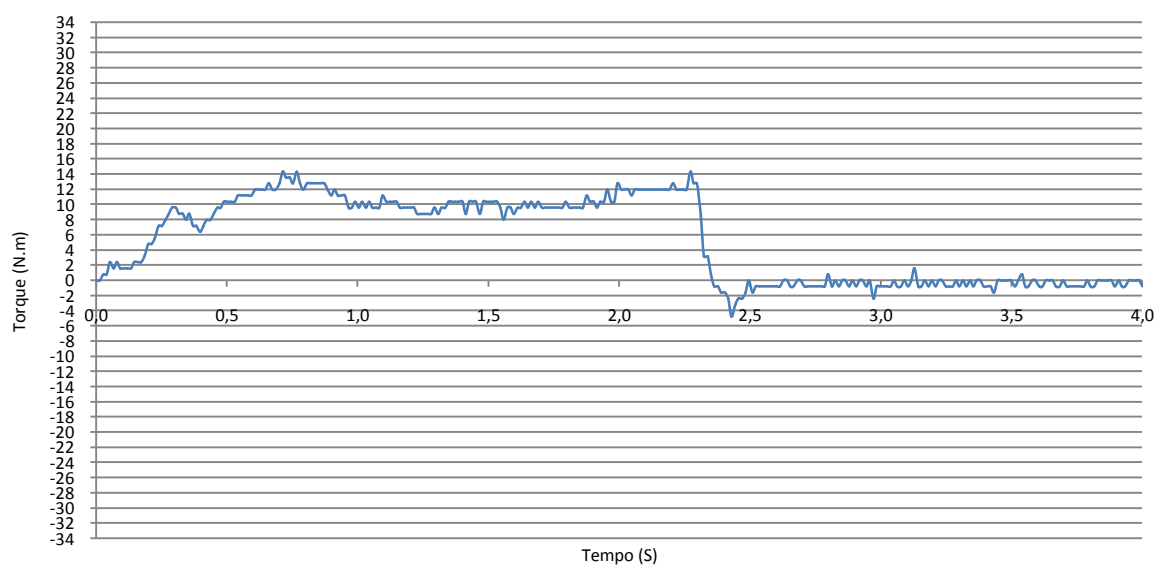


Figura E-24 Sinal de torque do ensaio três do macho M10 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

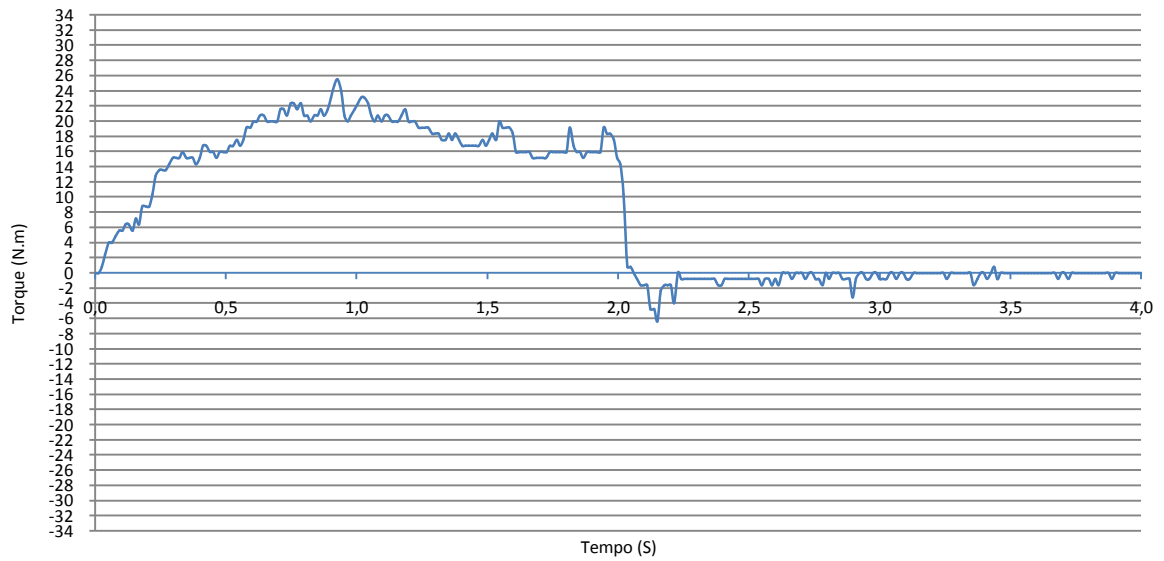


Figura E-25 Sinal de torque do ensaio um do macho M12 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

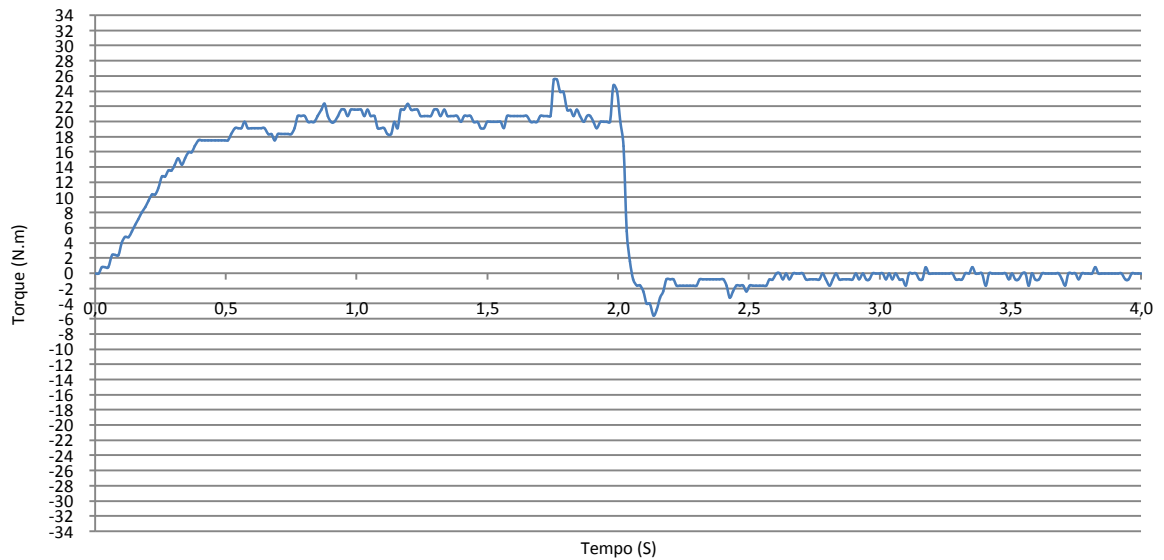


Figura E-26 Sinal de torque do ensaio dois do macho M12 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

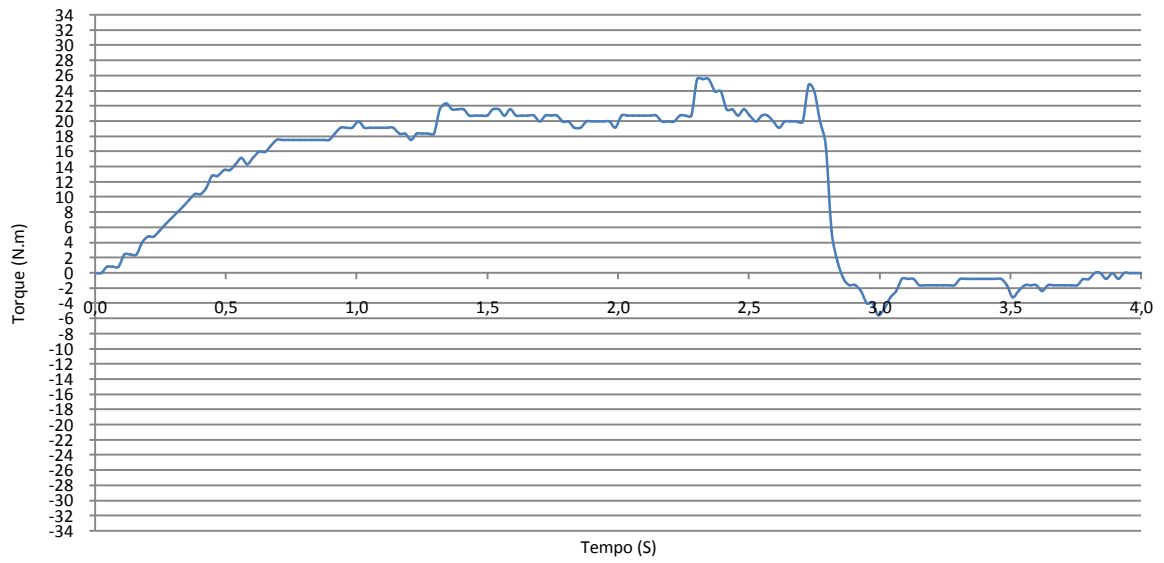


Figura E-27 Sinal de torque do ensaio três do macho M12 de HSS e canais helicoidais da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

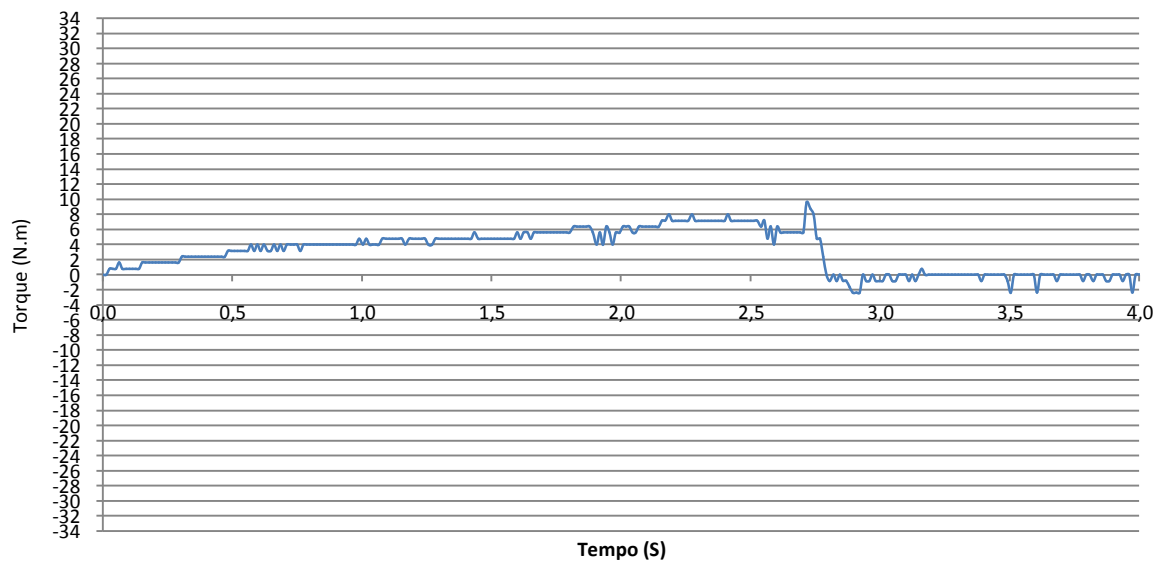


Figura E-28 Sinal de torque do ensaio um do macho M8 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

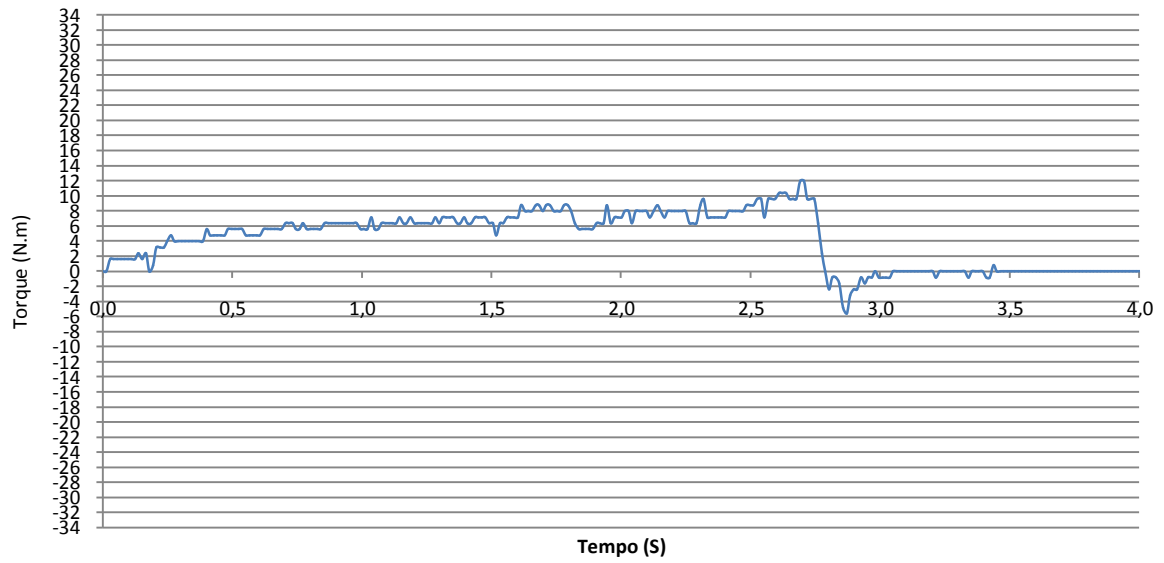


Figura E-29 Sinal de torque do ensaio dois do macho M8 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

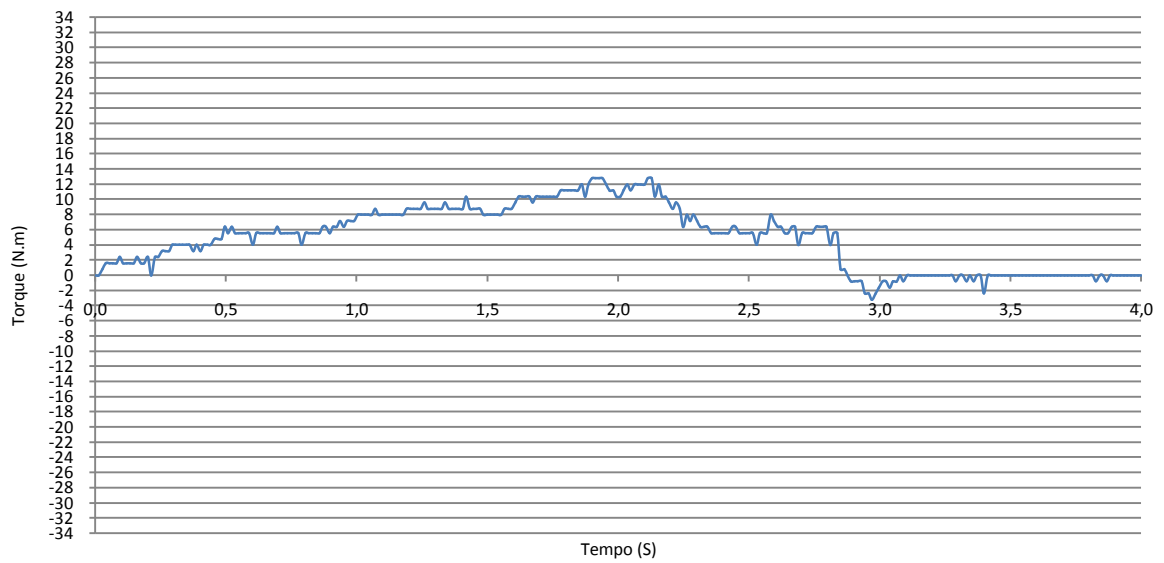


Figura E-30 Sinal de torque do ensaio três do macho M8 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

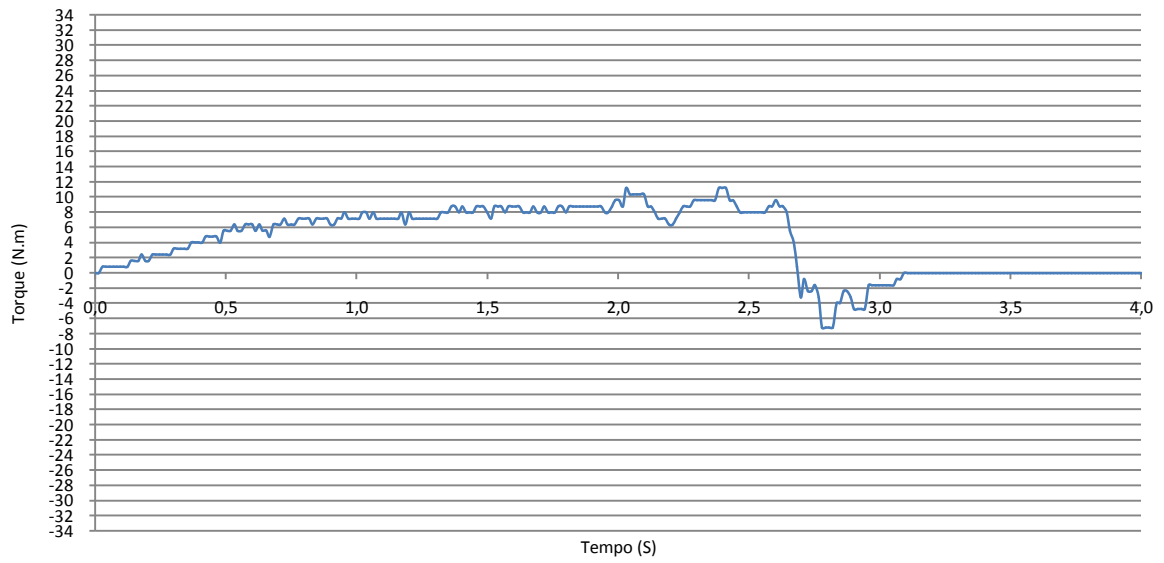


Figura E-31 Sinal de torque do ensaio um do macho M10 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

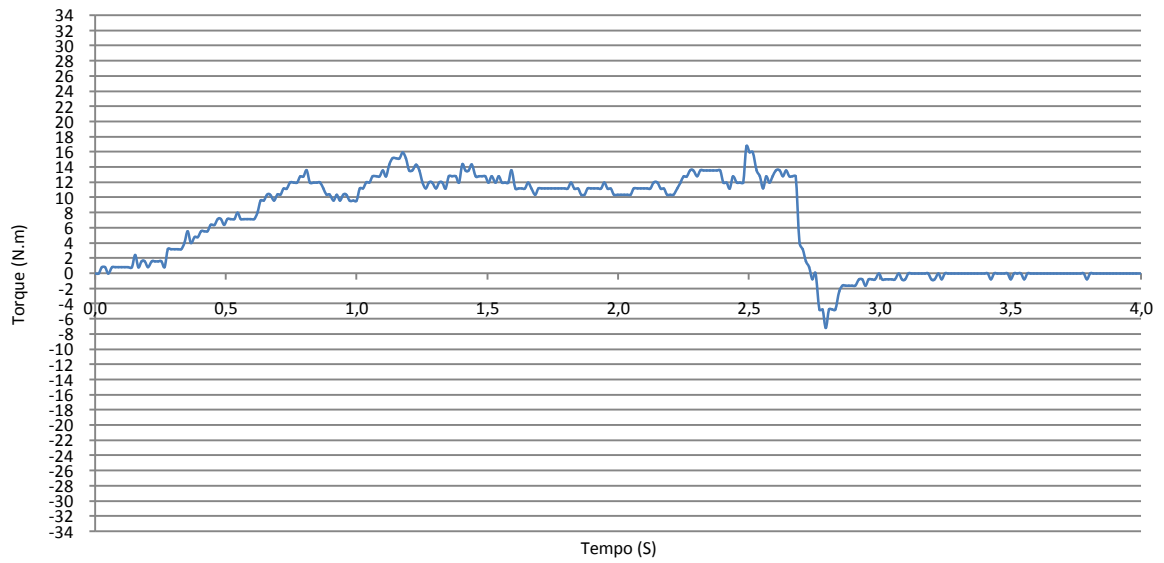


Figura E-32 Sinal de torque do ensaio dois do macho M8 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

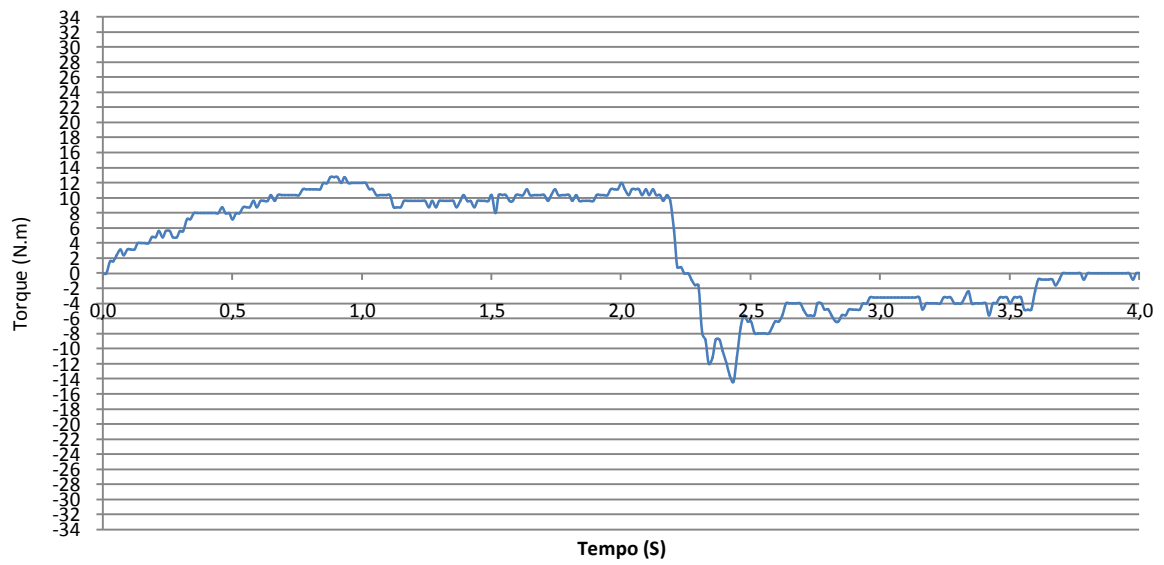


Figura E-33 Sinal de torque do ensaio três do macho M8 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

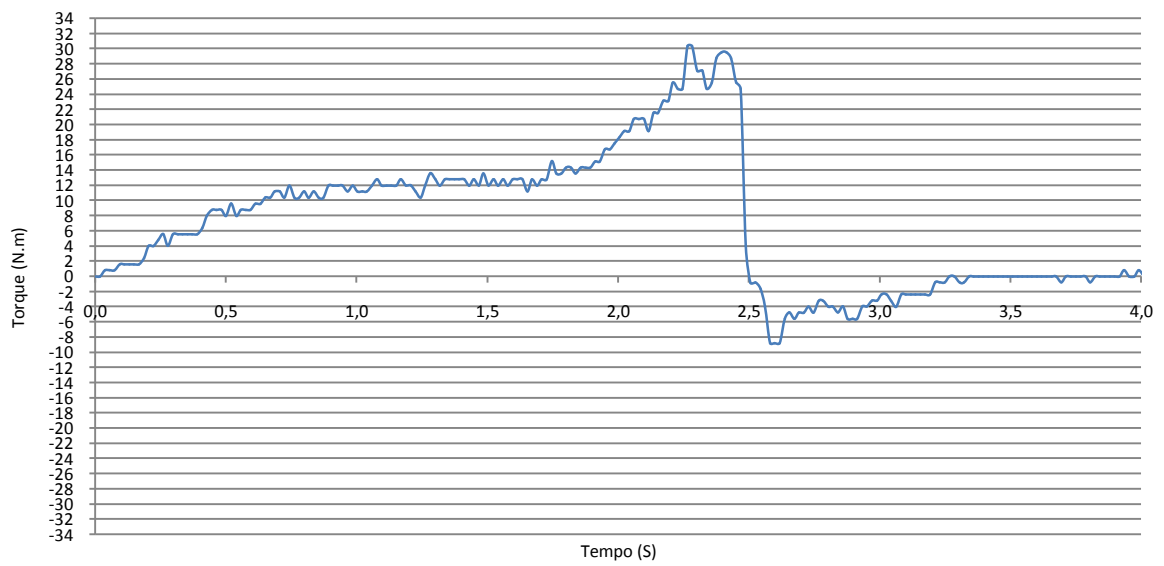


Figura E-34 Sinal de torque do ensaio um do macho M12 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

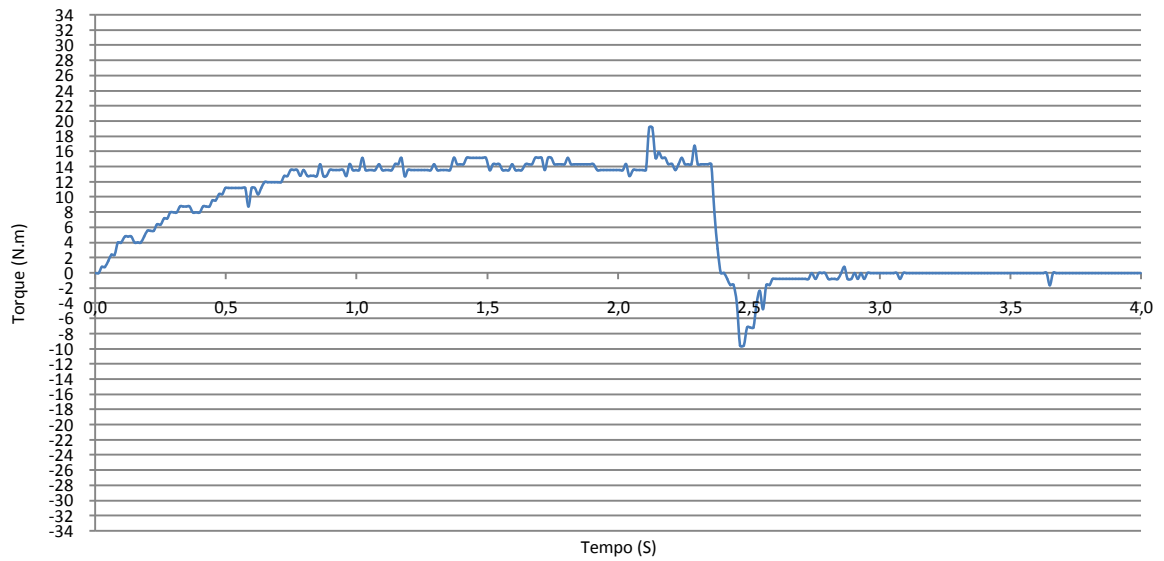


Figura E-35 Sinal de torque do ensaio dois do macho M12 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

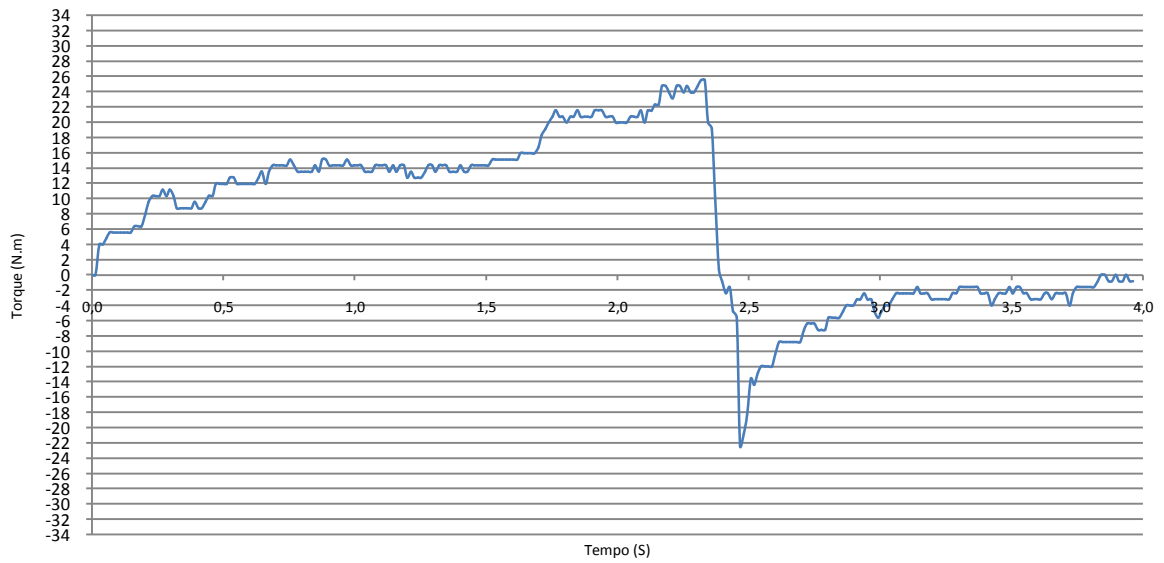


Figura E-36 Sinal de torque do ensaio três do macho M12 de HSS e ponta helicoidal da OSG; lubrificação por camada de óleo de corte puro; 280 RPM.

ANEXO A – CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO DA BALANÇA

VIZATEC QUALIFICAÇÃO & CALIBRAÇÃO DE EQUIPAMENTOS.
 Av. Copacabana, 103 - Piratini - Cep: 93216-120 - Sapucaia do Sul - RS.
 Fone: (xx51) 8404.2310 - Email: vizatec@hotmail.com

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº. 9049 -2009

CLIENTE

UNIVERSIDADE DO VALE DO RIO DOS SINOS- ASS. ANTÔNIO VIEIRA

AV. UNISINOS, 950

CRISTO REI

SÃO LEOPOLDO

RS

CARACTERÍSTICA DO OBJETO

Identificação :	066871	Faixa Nominal :	0 à 16.200
Descrição :	BALANÇA ELETRÔNICA	Resolução:	0,1
Fabricante :	MARTE	Unidade :	g
Modelo :	MB 16	Localização :	MATERIAIS DE CONSTRUÇÃO
Nº. de Série :	275903		

INFORMAÇÕES GERAIS

Protocolo Nº. :	1024	Data: 02/10/2009	Procedimento de Calibração :	PT 080 - ED.1 - RV. 0
Data da Calibração :	02/10/2009		Norma de Referência :	UKAS ref.: LAB. 14
Data de Emissão :	6/10/2009		Registro no Inmetro Nº. 502	

CONDIÇÕES AMBIENTAIS

Temperatura (°C) :	23 °C ± 5 °C	Umidade Relativa do Ar (%) :	65 % ± 20 %
--------------------	--------------	------------------------------	-------------

PADRÃO(ÕES) UTILIZADO(S)

IDENTIFICAÇÃO	DESCRIÇÃO	Nº. CERTIF.	EMITENTE	DATA	VALIDADE
PV 022	CONJUNTO DE PESOS PADRÃO	1851/2009	CETEMP-RBC	15/05/09	20 meses
PV 019	PESO PADRÃO	0571/2009	CETEMP-RBC	22/02/09	24 meses
PV 021	Conjunto de Pesos Padrão	8400/09	VIZATEC	03/04/09	14 meses
-	-	-	-	-	-

CONVENÇÕES

VVC : Valor Verdadeiro Convencional, valor correspondente ao padrão utilizado.

MM : Média das Medições, resultado obtido da média aritmética na unidade da grandeza correspondente ao instrumento sob calibração.

EI : Erro de Indicação, (MM-VVC).

VR: Variação da Repetitividade, variação entre os valores obtidos em uma série de medições sobre a mesma condição.

IM : A Incerteza expandida de medição relatada é declarada como a incerteza padrão de medição multiplicada pelo fator de abrangência k , o qual para uma distribuição t com $veff$ graus de liberdade efetivos corresponde a uma probabilidade de abrangência de aproximadamente 95%. A incerteza padrão da medição foi determinada de acordo com a publicação EA-4/02.

RESULTADO(S) DA CALIBRAÇÃO
VERIFICAÇÃO DOS ERROS DE INDICAÇÃO
CALIBRAÇÃO INICIAL

VALORES EM g

VVC	MM	EI	± IM	k	Veff
500,0	500,6	0,6	0,1	2,00	Infinitos
1.000,0	1.000,9	0,9	0,1	2,00	Infinitos
2.000,0	2.000,9	0,9	0,1	2,00	Infinitos
4.000,0	4.001,2	1,2	0,1	2,00	Infinitos
5.000,0	5.001,6	1,6	0,1	2,00	Infinitos
6.000,0	6.002,1	2,1	0,1	2,00	Infinitos
8.000,0	8.002,8	2,8	0,1	2,00	Infinitos
10.000,0	10.003,9	3,9	0,1	2,00	Infinitos
12.000,0	12.005,1	5,1	0,1	2,00	Infinitos
15.000,0	15.006,0	6,0	0,1	2,00	Infinitos

Os resultados são válidos somente para o estado do instrumento no momento da calibração, não sendo extensivo a quaisquer lotes. Este Certificado não tem valor para fins de metrologia legal e se limita exclusivamente ao instrumento calibrado. O Certificado de Calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização.

CERTIFICADO DE CALIBRAÇÃO Nº. 9049 -2009

RESULTADO(S) DA CALIBRAÇÃO

VERIFICAÇÃO DOS ERROS DE INDICAÇÃO

CALIBRAÇÃO APÓS AJUSTE

VALORES EM g

VVC	MM	EI	± IM	k	Veff
500,0	500,0	0,0	0,1	2,00	Infinitos
1.000,0	1.000,0	0,0	0,1	2,00	Infinitos
2.000,0	2.000,0	0,0	0,1	2,00	Infinitos
4.000,0	4.000,1	0,1	0,1	2,00	Infinitos
5.000,0	5.000,0	0,0	0,1	2,00	Infinitos
6.000,0	6.000,1	0,1	0,1	2,00	Infinitos
8.000,0	8.000,1	0,1	0,1	2,00	Infinitos
10.000,0	10.000,1	0,1	0,1	2,00	Infinitos
12.000,0	12.000,2	0,2	0,1	2,00	Infinitos
15.000,0	15.000,2	0,2	0,1	2,00	Infinitos

EXCENTRICIDADE

CALIBRAÇÃO INICIAL

VALORES EM g

VVC	MM	EI	± IM	k	Veff
5.000,0	5.001,8	1,8	0,1	3,31	4

CALIBRAÇÃO APÓS AJUSTE

VALORES EM g


VVC	MM	EI	± IM	k	Veff
5.000,0	5.000,1	0,1	0,1	2,37	9

REPETITIVIDADE

VALORES EM g

VVC	MM	EI	± IM	k	Veff	VR
16.200,0	16.200,2	0,2	0,1	2,87	4	0,2000

OBS.: A validade de calibração do instrumento deve ser estabelecida pelo usuário em plano de calibração descrito no sistema da qualidade de acordo com a norma NBR ISO 10.012 parte 1.
 Os resultados apresentados são obtidos a partir de três medições em cada ponto.


 Assinatura Autorizada
 Denilson Vs Oliveira
 Gerente Técnico

Os resultados são válidos somente para o estado do instrumento no momento da calibração, não sendo extensivo a quaisquer lotes.
 Este Certificado não tem valor para fins de metrologia legal e se limita exclusivamente ao instrumento calibrado.
 O Certificado de Calibração não deve ser parcialmente reproduzido sem a prévia autorização.